

# TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM REKAYASA ENERGI TERBARUKAN



**Disusun oleh :**  
Yunita Djamalu  
Rianto Wibowo  
Sugeng Pramudibyo  
Romi Djafar  
Rohima Sera Afifah

# **TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM REKAYASA ENERGI TERBARUKAN**

**Yunita Djamalu  
Rianto Wibowo  
Sugeng Pramudibyo  
Romi Djafar  
Rohima Sera Afifah**



**GET PRESS INDONESIA**

# **TEKNOLOGI DAN INOVASI DALAM REKAYASA ENERGI TERBARUKAN**

**Penulis :**

Yunita Djamalu  
Rianto Wibowo  
Sugeng Pramudibyo  
Romi Djafar  
Rohima Sera Afifah

**ISBN : 978-623-125-795-6**

**Editor :** Diana Purnama Sari., M.E

**Penyunting :** Ari Yanto., M.Pd

**Desain Sampul dan Tata Letak :** Tri Putri Wahyuni, S.Pd

**Penerbit :** GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

**Redaksi :**

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah  
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat  
Website : [www.getpress.co.id](http://www.getpress.co.id)  
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan  
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

## **KATA PENGANTAR**

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Teknologi Dan Inovasi Dalam Rekayasa Energi Terbarukan ini.

Buku Ini Membahas Pendahuluan Energi Terbarukan, Teknologi Energi Surya, Teknologi Energi Angin, Teknologi Energi Biomassa dan Bioenergi, Teknologi Energi Air dan Panas Bumi.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Mei 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                                            | <b>i</b>  |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                                | <b>ii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                              | <b>iv</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                             | <b>v</b>  |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN ENERGI TERBARUKAN .....</b>                       | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....                                               | 1         |
| 1.2 Definisi dan Konsep Dasar Energi Terbarukan.....                   | 2         |
| 1.3 Klasifikasi Energi.....                                            | 3         |
| 1.4 Manfaat dan Tantangan Energi Terbarukan .....                      | 5         |
| 1.5 Potensi Sumber Energi Terbarukan di Indonesia<br>(2020-2025) ..... | 5         |
| 1.6 Konversi dan Konservasi Energi.....                                | 9         |
| 1.7 Kesimpulan.....                                                    | 10        |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                    | 11        |
| <b>BAB 2 TEKNOLOGI DAN INOVASI ENERGI SURYA.....</b>                   | <b>13</b> |
| 2.1 Pendahuluan .....                                                  | 13        |
| 2.2 Dasar-Dasar Energi Surya.....                                      | 15        |
| 2.2.1 Variabilitas dan Distribusi Energi Surya.....                    | 15        |
| 2.2.2 Parameter Dalam Pemanfaatan Energi Surya.....                    | 16        |
| 2.3 Teknologi Energi Surya .....                                       | 16        |
| 2.3.1 Prinsip Kerja Fotovoltaik atau Sel Surya.....                    | 17        |
| 2.3.2 Jenis-Jenis Sel Surya.....                                       | 18        |
| 2.3.3 Energi Surya Termal .....                                        | 20        |
| 2.4 Inovasi Energi Surya .....                                         | 22        |
| 2.4.1 Sistem PLTS .....                                                | 22        |
| 2.4.2 Sistem Penyimpanan Energi Surya .....                            | 24        |
| 2.4.3 Inovasi Energi Surya Pada Bangunan.....                          | 25        |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                    | 28        |
| <b>BAB 3 TEKNOLOGI ENERGY ANGIN .....</b>                              | <b>29</b> |
| 3.1 Pendahuluan .....                                                  | 29        |
| 3.2 Prinsip Kerja Turbin Angin.....                                    | 32        |
| 3.2.1 Turbin Sumbu Horizontal (TASH) .....                             | 32        |
| 3.3.2 Turbin Sumbu Vertikal (TASV).....                                | 35        |
| 3.3 Komponen-Komponen Turbin Angin .....                               | 38        |
| 3.3.1 Komponen Turbin Angin Horizontal.....                            | 38        |

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.2 Komponen Turbin Angin Vertikal.....                              | 40        |
| 3.4 Perhitungan Daya Turbin Angin.....                                 | 41        |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                    | 43        |
| <b>BAB 4 REKNOLOGI BIOMASA DAN BIOENERGI.....</b>                      | <b>45</b> |
| 4.1 Teknologi Energi Biomassa .....                                    | 45        |
| 4.1.1 Proses Konversi Biomassa Termokimia .....                        | 46        |
| 4.1.2 Metode Pembakaran ( <i>Combustion</i> ).....                     | 47        |
| 4.1.3 Metode Karbonisasi/Terrofasi.....                                | 48        |
| 4.1.4 Metode Pirolisis.....                                            | 50        |
| 4.1.5 Metode Gasifikasi.....                                           | 52        |
| 4.1.6 Metode Terofaksi.....                                            | 54        |
| 4.1.7 Konversi energi biomassa dengan konversi<br>biokimia.....        | 55        |
| 4.2 Bioenergi .....                                                    | 58        |
| 4.2.1 Sumber Bioenergi .....                                           | 59        |
| 4.2.2 Jenis-Jenis Bioenergi Terdiri Dari Beberapa<br>Jenis Yaitu ..... | 59        |
| 4.2.3 Proses Konversi Bioenergi.....                                   | 60        |
| 4.2.4 Keuntungan dan kerugian Bioenergi.....                           | 60        |
| 4.2.5 Penerapan Bioenergi .....                                        | 60        |
| 4.2.6 Tantangan Pengembangan Bioenergi.....                            | 61        |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                    | 62        |
| <b>BAB 5 TEKNOLOGI ENERGI AIR DAN PANAS BUMI.....</b>                  | <b>63</b> |
| 5.1 Pendahuluan .....                                                  | 63        |
| 5.2 Sumber Terbarukan Di Indonesia.....                                | 65        |
| 5.3 Energi Air .....                                                   | 65        |
| 5.3.1 Potensi Energi Air .....                                         | 65        |
| 5.3.2 Teknologi Energi Air .....                                       | 66        |
| 5.4 Energi Panas Bumi.....                                             | 72        |
| 5.4.1 Potensi Energi Panas Bumi .....                                  | 72        |
| 5.4.2 Teknologi Energi Panas Bumi.....                                 | 73        |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                                    | 79        |
| <b>BIODATA PENULIS</b>                                                 |           |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 3.1.</b> Potensi Energi Angin di Indonesia.....                                                     | 29 |
| <b>Tabel 3.2.</b> Syarat dan kondisi angin yang dapat<br>digunakan untuk menghasilkan energi<br>listrik..... | 31 |
| <b>Tabel 4.1.</b> Perbandingan Suhu Proses Konversi<br>Termokimia .....                                      | 46 |
| <b>Tabel 5.1.</b> Komponen dan fungsi dasar PLTA .....                                                       | 67 |
| <b>Tabel 5.2.</b> Komponen dan fungsi dasar PLTMH.....                                                       | 69 |
| <b>Tabel 5.3.</b> Komponen dan fungsi dasar PLTA<br><i>Pumped Storage</i> .....                              | 71 |
| <b>Tabel 5.4.</b> Komponen dan fungsi Utama PLTP .....                                                       | 75 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2.1.</b> Prinsip Kerja Sel Surya.....                                            | 18 |
| <b>Gambar 2.2.</b> Jenis-Jenis Sel Surya .....                                             | 19 |
| <b>Gambar 2.3.</b> Energi Surya Termal.....                                                | 21 |
| <b>Gambar 2.4.</b> PV on-Grid.....                                                         | 23 |
| <b>Gambar 2.5.</b> PV Off-Grid.....                                                        | 24 |
| <b>Gambar 2.6.</b> Integrasi Bangunan dan Sel Surya .....                                  | 27 |
| <b>Gambar 3.1.</b> Turbin angin poros horizontal.....                                      | 33 |
| <b>Gambar 3.2.</b> Komponen utama turbin angin sumbu<br>horizontal .....                   | 34 |
| <b>Gambar 3.3.</b> Turbin angin Darrieus tipe-H .....                                      | 36 |
| <b>Gambar 3.4.</b> Arah angin pada sudu turbin.....                                        | 36 |
| <b>Gambar 4.1.</b> Teknologi Konversi Biomassa .....                                       | 45 |
| <b>Gambar 4.2.</b> Konversi biomassa Pembakaran<br>langsung.....                           | 47 |
| <b>Gambar 4.3.</b> Diagram Proses Konversi Energi<br>Meode Pirolisis .....                 | 51 |
| <b>Gambar 4.4.</b> Skematik <i>fixed-bed</i> gasifikasi downdraft<br>dan updraft .....     | 52 |
| <b>Gambar 4.5.</b> Diagram Proses Terofaksi .....                                          | 54 |
| <b>Gambar 4.6.</b> Proses konversi Biokimia.....                                           | 56 |
| <b>Gambar 4.7.</b> Teknologi Bioenergi dan Produknya .....                                 | 58 |
| <b>Gambar 5.1.</b> Komponen Dasar PLTA.....                                                | 67 |
| <b>Gambar 5.2.</b> Komponen Dasar PLTMH.....                                               | 68 |
| <b>Gambar 5.3.</b> Skema PLTA <i>Pumped Storage</i> .....                                  | 71 |
| <b>Gambar 5.4.</b> Skema PLTA <i>Pumped Storage</i> .....                                  | 72 |
| <b>Gambar 5.4.</b> Skema Pembangkit Listrik Tenaga Panas<br>bumi (PLTP) .....              | 74 |
| <b>Gambar 5.5.</b> Skema Teknologi Panas bumi (PLTP)<br>sistem <i>Dry Steam</i> . .....    | 76 |
| <b>Gambar 5.6.</b> Skema Teknologi Panas bumi (PLTP)<br>sistem <i>Flash Steam</i> . .....  | 77 |
| <b>Gambar 5.7.</b> Skema Teknologi Panas bumi (PLTP)<br>sistem <i>Binary Cycle</i> . ..... | 78 |



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN ENERGI TERBARUKAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan akan energi telah meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan kemajuan industri dalam beberapa dekade terakhir (IEA, 2021). Bergantung pada bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam telah mengakibatkan eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan, perubahan iklim, dan polusi udara (IPCC, 2022). Oleh karena itu, energi terbarukan menjadi solusi yang semakin dipertimbangkan untuk menjamin ketersediaan energi di masa depan yang lebih berkelanjutan (REN21, 2021).

Energi terbarukan mengacu pada sumber energi yang dapat diperbarui secara alami dalam skala waktu manusia, seperti energi matahari, angin, air (hidro), biomassa, dan panas bumi (Jacobson, 2020). Teknologi energi terbarukan telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir, memungkinkan efisiensi yang lebih tinggi dan biaya yang semakin rendah (Smil, 2017). Dengan semakin meningkatnya kesadaran global akan pentingnya transisi energi, banyak negara telah menetapkan kebijakan untuk mendukung pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan (IEA, 2021).

Selain itu, penggunaan energi terbarukan berperan dalam mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya yang tidak terbarukan dan meningkatkan keamanan energi global (REN21, 2021). Penerapan teknologi energi terbarukan juga berdampak positif pada penciptaan lapangan kerja serta meningkatkan inovasi dalam berbagai sektor industri (Jacobson, 2020). Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan bukan hanya menjadi kebutuhan lingkungan, tetapi juga faktor penting dalam keberlanjutan ekonomi dan sosial.

Indonesia telah menetapkan target untuk mencapai *Net Zero Emissions* (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat, sesuai dengan komitmennya dalam Konferensi Perubahan Iklim PBB (COP26) (Kementerian ESDM, 2021). Untuk mencapai target ini, Indonesia berencana mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan bauran energi terbarukan dalam sistem kelistrikan nasional (IEA, 2022). Beberapa langkah strategis yang diambil meliputi pengembangan energi surya dan angin, peningkatan efisiensi energi, serta penerapan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) (Bappenas, 2022).

Selain itu, pemerintah juga telah mengadopsi kebijakan untuk mendorong investasi di sektor energi hijau, termasuk insentif fiskal dan regulasi yang mendukung transisi energi (REN21, 2021). Tantangan dalam mencapai NZE 2060 meliputi keterbatasan teknologi penyimpanan energi, kebutuhan akan infrastruktur yang lebih baik, serta tantangan ekonomi dalam mendanai proyek-proyek energi bersih (IEA, 2022). Namun, dengan komitmen yang kuat dan kerja sama antara sektor publik dan swasta, Indonesia dapat mewujudkan target ini demi keberlanjutan lingkungan dan pembangunan ekonomi jangka panjang.

## **1.2 Definisi dan Konsep Dasar Energi Terbarukan**

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber daya alam yang secara alami dapat diperbaharui dalam jangka waktu yang relatif singkat dibandingkan dengan bahan bakar fosil (IEA, 2021). Beberapa jenis energi terbarukan yang umum digunakan meliputi:

1. Energi Matahari: Memanfaatkan radiasi matahari melalui panel surya atau teknologi lainnya (Jacobson, 2020).
2. Energi Angin: Mengubah energi kinetik angin menjadi listrik menggunakan turbin angin (REN21, 2021).
3. Energi Air (Hidroelektrik): Menggunakan aliran air untuk menggerakkan turbin yang menghasilkan listrik (IEA, 2021).
4. Energi Biomassa: Menghasilkan energi dari bahan organik seperti limbah pertanian, kayu, dan limbah industri (IPCC, 2022).

5. Energi Panas Bumi (Geothermal): Memanfaatkan panas dari dalam bumi untuk menghasilkan listrik atau pemanas (Smil, 2017).
6. Energi Biofuel: Bahan bakar yang berasal dari sumber biologis, seperti etanol dan biodiesel, yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar fosil (Jacobson, 2020).
7. Energi Pasang Surut: Menggunakan perbedaan ketinggian air laut akibat pasang dan surut untuk menghasilkan energi (IEA, 2021).
8. Energi Ombak: Menghasilkan listrik dari gerakan gelombang laut melalui teknologi konversi energi mekanik ke listrik (REN21, 2021).
9. Energi Osmosis: Memanfaatkan perbedaan salinitas antara air laut dan air tawar untuk menghasilkan listrik melalui membran khusus (IPCC, 2022).
10. Energi Magnet: Menggunakan medan magnet untuk menghasilkan tenaga listrik atau menggerakkan mesin (Smil, 2017).
11. Energi Gravitasi: Memanfaatkan gaya gravitasi untuk menghasilkan energi, seperti dalam sistem penyimpanan energi berbasis gravitasi (Jacobson, 2020).
12. Energi Radiasi: Mengonversi radiasi elektromagnetik, termasuk sinar matahari dan gelombang lainnya, menjadi energi listrik (IEA, 2021).
13. Penggunaan energi terbarukan memiliki potensi besar untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi

Ketergantungan kita pada bahan bakar fosil (IPCC, 2022). Selain itu, dapat menciptakan peluang ekonomi baru di bidang seperti konstruksi, manufaktur, dan penelitian dan pengembangan teknologi (REN21, 2021).

### **1.3 Klasifikasi Energi**

Energi dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori berdasarkan sumber dan sifatnya:

1. Energi Terbarukan: Energi yang berasal dari sumber yang dapat diperbarui secara alami dalam skala waktu manusia,

seperti energi surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi (REN21, 2021).

2. **Energi Tidak Terbarukan:** Energi yang berasal dari sumber daya yang terbatas dan tidak dapat diperbarui dalam skala waktu manusia, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam (IEA, 2021).
3. **Energi Primer dan Sekunder:**
  - a. **Energi Primer:** Energi dalam bentuk aslinya sebelum dikonversi, seperti minyak mentah, gas alam, dan energi matahari (IPCC, 2022).
  - b. **Energi Sekunder:** Energi yang dihasilkan melalui konversi dari energi primer, seperti listrik dan bahan bakar sintetis (Jacobson, 2020).

Energi secara umum dibagi dalam 2 bagian :

*Transitional energy* : energi yang bergerak dan bisa berpindah melintasi suatu batas sistem.

*Stored Energy:* Energi yang disimpan dalam bentuk massa, posisi dalam medan gaya, dll. Adapun kategori energi adalah:

1. **Energi mekanik:** Energi yang berasal dari gerakan atau posisi suatu objek, seperti energi angin dan air (Kementerian ESDM, 2022).
2. **Energi Termal:** Energi yang berasal dari panas, seperti energi panas bumi dan energi dari pembakaran biomassa (REN21, 2021).
3. **Energi Listrik:** Energi yang dihasilkan oleh aliran elektron dalam suatu konduktor. Sumber energi seperti air, tenaga surya, angin, dan sumber energi lainnya dapat digunakan untuk menghasilkan energi ini (IEA, 2021).
4. **Energi Elektromagnetik:** Energi yang berasal dari radiasi elektromagnetik, seperti gelombang radio, sinar inframerah, sinar-X, dan sinar gamma (Jacobson, 2020).
5. **Energi Kimia:** Energi disimpan dalam ikatan kimia zat dan dilepaskan melalui reaksi kimia. Contoh reaksi ini adalah pembakaran bahan bakar fosil atau reaksi dengan baterai (IPCC, 2022).

6. **Energi Nuklir:** Energi yang dihasilkan dari reaksi nuklir, yaitu fisi (pembelahan inti atom) dan fusi (penggabungan inti atom), digunakan untuk menghasilkan listrik. (REN21, 2021).

**1.4 Manfaat dan Tantangan Energi Terbarukan**

Manfaat dari energi terbarukan adalah:

1. Ramah Lingkungan: Mengurangi emisi karbon dan polusi udara (IPCC, 2022).
2. Ketersediaan yang Berkelanjutan: Tidak akan habis karena bersumber dari alam (Jacobson, 2020).
3. Diversifikasi Sumber Energi: Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (IEA, 2021).
4. Peluang Ekonomi: Menciptakan lapangan kerja di bidang teknologi energi bersih (REN21, 2021).
5. Keamanan Energi: Mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil (Smil, 2017).
6. Tantangan dalam Pengembangan Energi Terbarukan
7. Biaya Awal yang Tinggi: Investasi awal yang besar untuk infrastruktur dan teknologi (IEA, 2021).
8. Intermitensi: Beberapa sumber energi seperti matahari dan angin bergantung pada kondisi cuaca (Jacobson, 2020).
9. Kebutuhan Lahan: Instalasi pembangkit energi terbarukan seperti ladang angin dan panel surya membutuhkan lahan yang luas (REN21, 2021).
10. Keterbatasan Teknologi Penyimpanan Energi: Penyimpanan energi masih menjadi tantangan, meskipun teknologi baterai terus berkembang (IPCC, 2022).
11. Regulasi dan Kebijakan: Dibutuhkan dukungan kebijakan yang kuat untuk mempercepat adopsi energi terbarukan (Smil, 2017).

**1.5 Potensi Sumber Energi Terbarukan di Indonesia (2020-2025)**

Berikut adalah tabel yang menunjukkan potensi sumber energi terbarukan di Indonesia dari tahun 2020 hingga 2025.

|        |      |      |      |      |      |      |           |
|--------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| Sumber | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | Referensi |
|--------|------|------|------|------|------|------|-----------|

|                     |      |      |      |      |      |      |                          |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| Energi Terbarukan   | (GW) | (GW) | (GW) | (GW) | (GW) | (GW) |                          |
| Energi Matahari     | 4.5  | 4.8  | 5.0  | 5.1  | 5.2  | 5.3  | (Kementerian ESDM, 2022) |
| Energi Angin        | 1.8  | 2.0  | 2.2  | 2.3  | 2.4  | 2.5  | (REN21, 2021)            |
| Energi Air (PLTA)   | 17.0 | 17.5 | 18.0 | 18.5 | 19.0 | 20.0 | (IPCC, 2022)             |
| Energi Biomassa     | 2.0  | 2.3  | 2.6  | 2.8  | 3.0  | 3.2  | (Smil, 2017)             |
| Energi Panas Bumi   | 6.0  | 6.2  | 6.5  | 6.7  | 6.8  | 7.0  | (Jacobson, 2020)         |
| Energi Biofuel      | 1.2  | 1.4  | 1.6  | 1.8  | 1.9  | 2.0  | (Kementerian ESDM, 2022) |
| Energi Pasang Surut | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | 1.0  | (REN21, 2021)            |
| Energi Ombak        | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | (IEA, 2021)              |
| Energi Osmosis      | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.4  | 0.5  | 0.5  | (IPCC, 2022)             |
| Energi Magnet       | 0.1  | 0.15 | 0.2  | 0.25 | 0.3  | 0.3  | (Jacobson, 2020)         |
| Energi Gravitasi    | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.55 | 0.6  | (IEA, 2021)              |
| Energi Radiasi      | 3.5  | 3.7  | 3.9  | 4.2  | 4.3  | 4.5  | (Kementerian ESDM, 2022) |

## **Energi Matahari**

Teknologi panel surya dapat memanfaatkan energi matahari, yang merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling melimpah (Jacobson, 2020). Di Indonesia, pemanfaatan energi matahari terus berkembang dengan target kapasitas terpasang sebesar 5,3 GW pada tahun 2025 (Kementerian ESDM, 2022). Aplikasinya meliputi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pemanas air tenaga surya, serta penerangan jalan umum berbasis tenaga surya (IEA, 2021).

### **Energi Angin**

Energi angin dihasilkan dengan menggunakan turbin angin untuk mengubah energi kinetik angin menjadi listrik (REN21, 2021). Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan energi angin, terutama di wilayah pesisir seperti Sulawesi dan Nusa Tenggara (Bappenas, 2022). Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) telah dikembangkan di beberapa lokasi seperti Sidrap dan Jeneponto dengan kapasitas ratusan megawatt (IEA, 2021).

## **Energi Air (Hidroelektrik)**

Turbin yang menghasilkan listrik digerakkan oleh pengembang listrik tenaga air (PLTA). (IPCC 2022), Dengan kapasitas yang diproyeksikan mencapai 20 GW pada tahun 2025 Indonesia memiliki potensi energi hidroelektrik yang besar, Ini terutama terlihat di wilayah Kalimantan, Sumatera, dan Papua. (Kementerian ESDM, 2022),

## **Energi Biomassa**

Energi biomassa berasal dari bahan organik seperti limbah pertanian, kayu, dan sampah organik yang dapat diolah menjadi bahan bakar atau listrik (Smil, 2017). Indonesia telah mengembangkan pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTBm) dengan memanfaatkan limbah sawit dan kayu sebagai bahan bakar utama (REN21, 2021).

## **Energi Panas Bumi (Geothermal)**

Indonesia memiliki potensi energi panas bumi terbesar kedua di dunia dengan kapasitas terpasang yang diproyeksikan mencapai 7 GW pada tahun 2025 (Jacobson, 2020). Pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) telah dikembangkan di berbagai daerah seperti Dieng, Kamojang, dan Lahendong (IEA, 2021).

## **Energi Biofuel**

Biofuel merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari sumber biologis seperti kelapa sawit, tebu, dan jagung (IPCC, 2022). Indonesia telah menerapkan program biodiesel B30 sebagai langkah transisi energi dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Kementerian ESDM, 2022).

## **Energi Pasang Surut**

Energi pasang surut memanfaatkan perbedaan ketinggian air laut akibat gaya gravitasi bulan dan matahari untuk menghasilkan energi listrik (Smil, 2017). Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga pasang surut (PLTPs) di wilayah pesisir seperti Maluku dan Papua (REN21, 2021).

## **Energi Ombak**

Energi ombak berasal dari gerakan gelombang laut yang dapat dikonversi menjadi listrik menggunakan teknologi khusus (IEA, 2021). Wilayah pesisir selatan Jawa dan Bali memiliki potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga ombak (PLTO) (Bappenas, 2022).

## **Energi Osmosis**

Energi osmosis dihasilkan oleh aliran ion dan listrik melalui membran khusus karena perbedaan salinitas antara air laut dan air tawar (IPCC, 2022). Meskipun teknologi ini masih dalam tahap penelitian, dapat digunakan di wilayah pesisir Indonesia (Smil, 2017).

## 1.6 Konversi dan Konservasi Energi

Konversi energi adalah proses mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya agar lebih mudah dimanfaatkan, seperti konversi energi matahari menjadi listrik menggunakan panel fotovoltaik (Jacobson, 2020). Teknologi konversi energi yang berkembang saat ini mencakup turbin angin, pembangkit listrik tenaga air, dan pembangkit listrik tenaga panas bumi (IPCC, 2022). Efisiensi dalam konversi energi menjadi aspek penting untuk mengurangi kehilangan energi selama proses ini (REN21, 2021).

Salah satu inovasi dalam konversi energi adalah pemanfaatan teknologi penyimpanan energi seperti baterai litium-ion dan teknologi hidrogen untuk menyimpan energi dari sumber terbarukan (IEA, 2021). Teknologi penyimpanan ini sangat penting untuk meningkatkan stabilitas jaringan listrik dan memastikan ketersediaan energi saat permintaan tinggi (IPCC, 2022). Selain itu, pengembangan sistem smart grid memungkinkan distribusi energi yang lebih efisien dan adaptif terhadap fluktuasi pasokan energi terbarukan (Kementerian ESDM, 2022).

Sementara itu, konservasi energi bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi dengan meningkatkan efisiensi dan mengadopsi praktik hemat energi (IEA, 2021). Contohnya adalah penerapan teknologi LED untuk penerangan yang lebih efisien dibandingkan lampu pijar tradisional (Kementerian ESDM, 2022). Selain itu, pengelolaan konsumsi energi dalam sektor industri dapat dilakukan dengan menerapkan sistem manajemen energi berbasis ISO 50001 (IPCC, 2022).

Konservasi energi juga dapat diterapkan dalam sektor transportasi dengan mempercepat adopsi kendaraan listrik dan meningkatkan efisiensi bahan bakar pada kendaraan konvensional (REN21, 2021). Kebijakan seperti subsidi kendaraan listrik dan pembangunan infrastruktur pengisian daya menjadi faktor kunci dalam mendorong peralihan ke transportasi rendah emisi (Kementerian ESDM, 2022). Selain itu, dalam sektor bangunan, penerapan desain arsitektur hijau dan

teknologi pengelolaan energi dapat mengurangi konsumsi energi secara signifikan (Jacobson, 2020).

Dengan mengoptimalkan konversi dan konservasi energi, Indonesia dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi terbarukan serta mendukung target Net Zero Emissions 2060 (Kementerian ESDM, 2022).

## **1.7 Kesimpulan**

Energi terbarukan merupakan solusi utama dalam menghadapi tantangan keberlanjutan energi di masa depan. Indonesia memiliki potensi besar dalam berbagai sumber energi terbarukan, seperti energi surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi, yang dapat dimanfaatkan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Kementerian ESDM, 2022).

Dalam klasifikasi energi, energi dapat dibagi berdasarkan sumber dan sifatnya, termasuk energi mekanik, listrik, elektromagnetik, kimia, nuklir, dan termal. Konsep ini penting dalam memahami bagaimana energi dapat dikonversi dan digunakan secara efisien (REN21, 2021). Konversi energi, seperti pemanfaatan panel surya dan turbin angin, memungkinkan energi terbarukan diubah menjadi listrik yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai sektor (IEA, 2021).

Konservasi energi juga menjadi aspek penting dalam memastikan penggunaan energi yang lebih efisien. Inovasi seperti teknologi penyimpanan energi dan smart grid membantu meningkatkan stabilitas dan keandalan sistem energi nasional (IPCC, 2022). Dengan kebijakan yang tepat dan investasi yang berkelanjutan, Indonesia berpotensi mencapai target Net Zero Emissions pada tahun 2060 dan memastikan ketahanan energi nasional (Jacobson, 2020).

## DAFTAR PUSTAKA

- International Energy Agency (IEA). (2021). *World Energy Outlook 2021*. OECD Publishing.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jacobson, M. Z. (2020). *100% Clean, Renewable Energy and Storage for Everything*. Cambridge University Press.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2022). *Laporan Kinerja Sektor Energi Terbarukan di Indonesia*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2021). *Renewables 2021 Global Status Report*. REN21 Secretariat.
- Smil, V. (2017). *Energy and Civilization: A History*. MIT Press.



# **BAB 2**

## **TEKNOLOGI DAN INOVASI ENERGI SURYA**

### **2.1 Pendahuluan**

Selama lebih dari satu abad, sistem energi dunia sangat bergantung pada bahan bakar fosil sebagai sumber utama energi. Namun, sumber daya fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam memiliki sifat yang tidak terbarukan—artinya, jumlahnya terbatas dan akan habis jika terus digunakan dalam jangka panjang. Selain itu, proses pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dalam jumlah besar, yang menjadi penyumbang utama pemanasan global dan perubahan iklim. Kenaikan suhu global telah berdampak pada berbagai aspek kehidupan, seperti mencairnya es kutub, kenaikan permukaan air laut, serta cuaca ekstrem yang semakin sering terjadi. Kondisi ini menuntut perubahan mendasar dalam sistem energi dunia.

Energi terbarukan hadir sebagai solusi strategis untuk mengatasi krisis ini. Sumber-sumber energi seperti matahari, angin, air, dan biomassa dapat diperbarui secara alami dan tersedia hampir di seluruh wilayah dunia. Energi ini juga relatif ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil. Dengan memanfaatkan energi terbarukan, negara-negara di dunia dapat mengurangi ketergantungan pada energi impor, meningkatkan kemandirian energi, serta membuka peluang ekonomi baru, khususnya dalam bidang teknologi bersih, manufaktur peralatan energi terbarukan, dan penciptaan lapangan kerja hijau (green jobs). Oleh karena itu, transisi menuju sistem energi rendah karbon berbasis energi terbarukan telah menjadi agenda global yang diadopsi dalam berbagai kebijakan dan kerangka kerja

pembangunan berkelanjutan, seperti Paris Agreement dan Sustainable Development Goals (SDGs).

Energi surya, sebagai salah satu bentuk energi terbarukan, memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan sumber energi lainnya. Sinar matahari tersedia secara melimpah, tersebar luas, dan tidak terbatas—di mana hampir semua wilayah di bumi menerima energi matahari setiap hari. Teknologi pemanfaatan energi surya saat ini terbagi menjadi dua kategori utama: sistem fotovoltaik (PV) yang mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik, dan sistem termal yang memanfaatkan panas matahari untuk pemanasan air, udara, atau untuk pembangkitan listrik melalui teknologi konsentrasi (CSP).

Perkembangan teknologi fotovoltaik telah mendorong penurunan biaya produksi panel surya secara signifikan dalam dua dekade terakhir, membuatnya semakin kompetitif dibandingkan pembangkit listrik berbasis fosil. Laporan IEA (2020) menunjukkan bahwa energi surya merupakan "raja baru" dalam sistem pembangkitan listrik, dan diprediksi akan menjadi sumber listrik terbesar di dunia dalam beberapa dekade mendatang (IEA,2020). Selain itu, energi surya sangat fleksibel dalam implementasinya, baik dalam skala kecil seperti atap rumah tangga, maupun skala besar dalam bentuk solar farm. Energi surya juga sangat relevan dalam konteks elektrifikasi pedesaan dan daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional.

Dalam konteks transisi energi global, energi surya berkontribusi besar terhadap upaya dekarbonisasi sektor energi. Penerapan luas teknologi surya dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, memperkuat ketahanan energi, dan mendukung pembangunan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan energi surya kini menjadi prioritas banyak negara di dunia, termasuk melalui dukungan insentif kebijakan, peningkatan investasi, dan penguatan kapasitas lokal dalam inovasi dan manufaktur teknologi surya (Kementrian ESDM,2020).

## 2.2 Dasar-Dasar Energi Surya

Radiasi matahari merupakan bentuk energi elektromagnetik yang berasal dari reaksi fusi nuklir di inti matahari. Energi ini memancarkan foton ke segala arah dan sebagian kecilnya mencapai permukaan bumi. Di luar atmosfer bumi, intensitas radiasi matahari mencapai sekitar  $1361 \text{ W/m}^2$ , yang dikenal sebagai konstanta matahari atau *solar constant* (Duffie & Beckman, 2013). Namun, saat energi ini memasuki atmosfer, sebagian akan diserap, dipantulkan, atau disebarkan oleh partikel udara, awan, dan ozon, sehingga nilai radiasi yang sampai ke permukaan bumi menurun menjadi rata-rata  $1000 \text{ W/m}^2$  pada kondisi langit cerah di siang hari.

Radiasi matahari yang diterima permukaan bumi terbagi menjadi tiga komponen: radiasi langsung (*direct beam*), radiasi difus (*diffuse*), dan radiasi global (global). Radiasi langsung berasal langsung dari matahari tanpa interaksi atmosfer, sedangkan radiasi difus berasal dari pantulan dan pembiasan atmosfer. Radiasi global adalah total dari keduanya. Distribusi spektrum energi radiasi matahari terdiri dari sekitar 6% ultraviolet (UV), 47% cahaya tampak, dan 47% inframerah (IR) (Green, 2021).

### 2.2.1 Variabilitas dan Distribusi Energi Surya

Distribusi energi surya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor geografis dan iklim. Wilayah tropis seperti Indonesia memiliki keunggulan karena posisi lintangnya yang dekat dengan garis khatulistiwa, memungkinkan penerimaan sinar matahari hampir sepanjang tahun. Rata-rata intensitas radiasi matahari di Indonesia berkisar antara  $4,5$  hingga  $5,5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ , tergantung pada lokasi dan musim (Kementerian ESDM, 2020). Sebagai contoh, daerah seperti Kupang (NTT) dan Timika (Papua) mencatat potensi iradiasi hingga  $5,8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ , sedangkan wilayah seperti Jakarta memiliki rata-rata sekitar  $4,6 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ .

Selain lokasi, variabilitas musiman juga berpengaruh besar. Pada musim kemarau, intensitas matahari meningkat karena langit cenderung cerah dan minim awan. Sebaliknya,

pada musim hujan, intensitas menurun drastis akibat banyaknya tutupan awan yang menyerap dan memantulkan sinar matahari. Faktor lainnya adalah topografi, di mana daerah pegunungan atau yang sering berkabut memiliki potensi radiasi lebih rendah dibandingkan dataran rendah yang terbuka

### **2.2.2 Parameter Dalam Pemanfaatan Energi Surya**

Dalam perencanaan dan optimalisasi sistem energi surya, beberapa parameter fisik menjadi sangat penting. Iradiasi matahari (*solar irradiance*) adalah ukuran intensitas energi matahari sesaat yang diterima per satuan luas, dinyatakan dalam Watt per meter persegi ( $\text{W/m}^2$ ). Pada siang hari yang cerah, nilai ini dapat mencapai  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Insolasi matahari (*solar insolation*) adalah total energi yang diterima dalam periode waktu tertentu, biasanya harian, dengan satuan  $\text{kWh/m}^2/\text{hari}$ . Sebagai contoh, daerah seperti Bali menerima insolasi tahunan sekitar  $1800\text{--}2000 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$  (Tiwari & Dubey, 2010).

Parameter lain yang penting adalah jam matahari efektif (*peak sun hours/PSH*), yaitu jumlah jam dalam sehari di mana intensitas sinar matahari setara dengan  $1000 \text{ W/m}^2$ . Indonesia secara umum memiliki PSH sekitar 4–5 jam per hari.

Juga penting adalah sudut zenith dan sudut azimuth, yang menggambarkan posisi matahari di langit. Parameter ini digunakan dalam perancangan kemiringan panel untuk memaksimalkan penyerapan sinar matahari sepanjang tahun. Misalnya, di Jakarta ( $6^\circ \text{ LS}$ ), sudut kemiringan optimal panel surya untuk pemasangan tetap (*fixed*) adalah sekitar  $10\text{--}15^\circ$  ke utara.

## **2.3 Teknologi Energi Surya**

Energi matahari dapat dikonversi menjadi bentuk energi lain, terutama listrik dan panas, melalui dua jalur utama: konversi fotovoltaik (PV) dan konversi termal.

Sistem PV mengubah cahaya matahari menjadi listrik melalui efek fotovoltaik pada material semikonduktor, seperti silikon. Efisiensi konversi tergantung pada teknologi sel surya:

1. Monokristalin silikon: efisiensi 18–22%
2. Polikristalin silikon: efisiensi 15–17%
3. Thin film (CdTe, a-Si): efisiensi 10–13%
4. Perovskite solar cells (PSC): efisiensi lab hingga 25,7% (2023) dan terus meningkat (Green, 2021).

Dalam kondisi radiasi 5 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan efisiensi 18%, sebuah panel PV seluas 1 m<sup>2</sup> dapat menghasilkan listrik sekitar 0,9 kWh/hari.

Teknologi energi surya termal memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan panas, yang digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pemanas air (*solar water heater*), pengering hasil pertanian (*solar dryer*), hingga pembangkit listrik termal (*Concentrated Solar Power/CSP*).

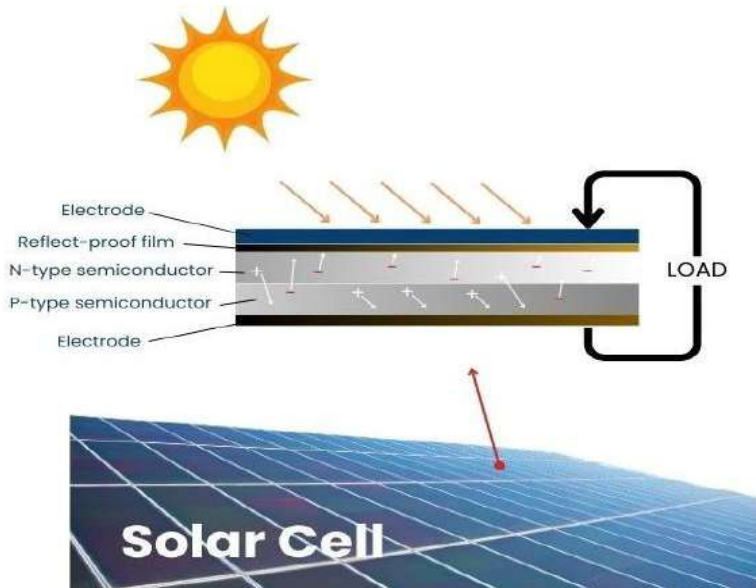
Efisiensi sistem termal biasanya lebih tinggi dibandingkan sistem PV untuk aplikasi pemanasan, bisa mencapai 30–60%, tergantung jenis sistem dan kondisi lingkungan (Duffie & Beckman, 2013). Sebagai contoh, solar collector flat-plate standar dapat memanaskan air dari 25°C menjadi 60°C dalam waktu 3–4 jam pada radiasi rata-rata 800 W/m<sup>2</sup>.

### **2.3.1 Prinsip Kerja Fotovoltaik atau Sel Surya**

Sel surya bekerja berdasarkan efek fotovoltaiik, yaitu fenomena di mana cahaya matahari yang jatuh pada material semikonduktor menyebabkan pemisahan muatan listrik (elektron dan hole), yang menghasilkan arus listrik searah (DC). Material semikonduktor yang paling umum digunakan adalah silikon, baik dalam bentuk kristalin maupun amorf.

Secara umum, sel surya terdiri dari dua lapisan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang membentuk junction p-n. Ketika foton dengan energi lebih besar dari band gap semikonduktor diserap, energi tersebut membebaskan elektron dari ikatan atom, membentuk pasangan elektron-hole. Medan listrik internal di junction p-n mendorong elektron bergerak ke kutub negatif dan hole ke kutub positif, menciptakan arus listrik yang dapat dimanfaatkan secara eksternal (Green, 2021).

Energi foton dalam spektrum cahaya tampak berkisar antara 1,65 eV (merah) hingga 3,1 eV (ungu). Band gap silikon adalah sekitar 1,1 eV, cocok untuk menyerap sebagian besar spektrum matahari.



**Gambar 2.1.** Prinsip Kerja Sel Surya (sumber : Green,2021)

### 2.3.2 Jenis-Jenis Sel Surya

Teknologi sel surya telah berkembang dalam beberapa generasi, dengan karakteristik material dan efisiensi yang berbeda-beda. Berikut adalah tipe-tipe utama:

#### 1. **Monocrystalline Silicon (Mono-Si)**

Sel surya ini terbuat dari kristal silikon tunggal yang tersusun rapi. Ciri khasnya adalah warna gelap dan bentuk panel yang membulat di sudut. Kelebihannya adalah efisiensi tinggi, sekitar 18–22%, dan performa baik pada intensitas cahaya rendah. Namun, biaya produksinya lebih tinggi (Green et al., 2023).

#### 2. **Polycrystalline Silicon (Poly-Si)**

Terbuat dari silikon yang dicetak dari berbagai kristal kecil. Memiliki warna kebiruan dan tekstur kristal terlihat jelas.

Efisiensinya sedikit lebih rendah dibanding mono-Si, yaitu 15–17%, namun biaya produksi lebih murah.

### 3. Thin Film (a-Si, CdTe, CIGS)

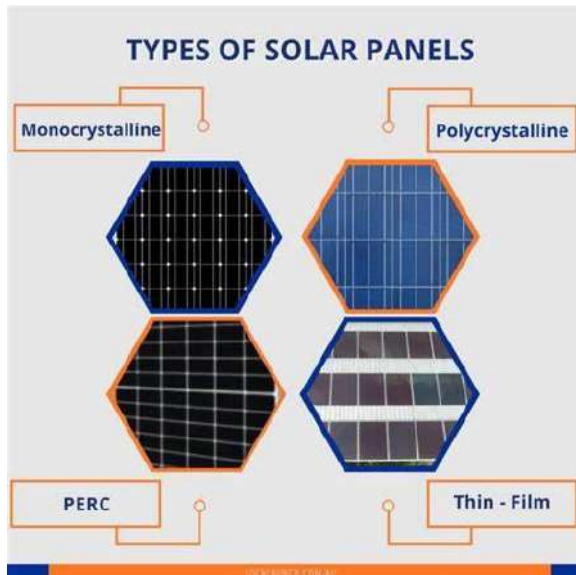
Teknologi ini menggunakan lapisan semikonduktor tipis yang disemprotkan ke permukaan seperti kaca atau plastik. Beberapa material yang digunakan adalah:

- Amorphous Silicon* (a-Si): efisiensi sekitar 6–10%
- Cadmium Telluride* (CdTe): efisiensi 13–16%
- Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS): efisiensi 14–18%

Keunggulannya adalah ringan, fleksibel, dan cocok untuk aplikasi portable atau permukaan tidak rata (Tiwari & Dubey, 2010).

### 4. Perovskite Solar Cells (PSC)

Teknologi terbaru yang menggunakan struktur kristal perovskite ( $ABX_3$ ). Keunggulannya adalah proses produksi yang murah dan efisiensi yang terus meningkat. Laboratorium telah mencatat efisiensi hingga 25,7% (per 2023), meskipun stabilitas jangka panjang dan toksisitas masih menjadi tantangan (Green, 2021)



**Gambar 2.2.** Jenis-Jenis Sel Surya (sumber : Green,2021)

### 2.3.3 Energi Surya Termal

#### 1. Pemanas Air Tenaga Surya (*Solar Water Heater*)

Pemanas air tenaga surya memanfaatkan energi matahari untuk memanaskan air, biasanya digunakan untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri. Sistem ini terdiri dari kolektor surya (umumnya tipe flat-plate atau vacuum tube) yang menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi panas, serta tangki penyimpanan air panas. Air yang melewati kolektor akan menyerap panas dan ditampung di dalam tangki untuk digunakan saat dibutuhkan. Sistem ini dapat bekerja secara pasif (*thermosiphon*) atau aktif dengan menggunakan pompa untuk sirkulasi (Kumar,2022).

#### 2. Pengering Tenaga Surya (*Solar Dryer*)

Solar dryer dirancang untuk mengeringkan produk pertanian seperti buah, sayur, atau hasil laut dengan memanfaatkan sinar matahari. Dibandingkan pengeringan langsung di bawah matahari (*open sun drying*), solar dryer lebih higienis dan efisien karena melindungi produk dari debu, serangga, dan kelembaban tinggi. Tipe yang umum digunakan termasuk pengering kabinet, pengering tunnel, dan hybrid dryer yang menggabungkan energi surya dan listrik atau biomassa.

#### 3. *Concentrated Solar Power (CSP)*

CSP menggunakan cermin atau lensa untuk memfokuskan sinar matahari ke satu titik sehingga menghasilkan panas tinggi yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Ada beberapa tipe CSP, yaitu:

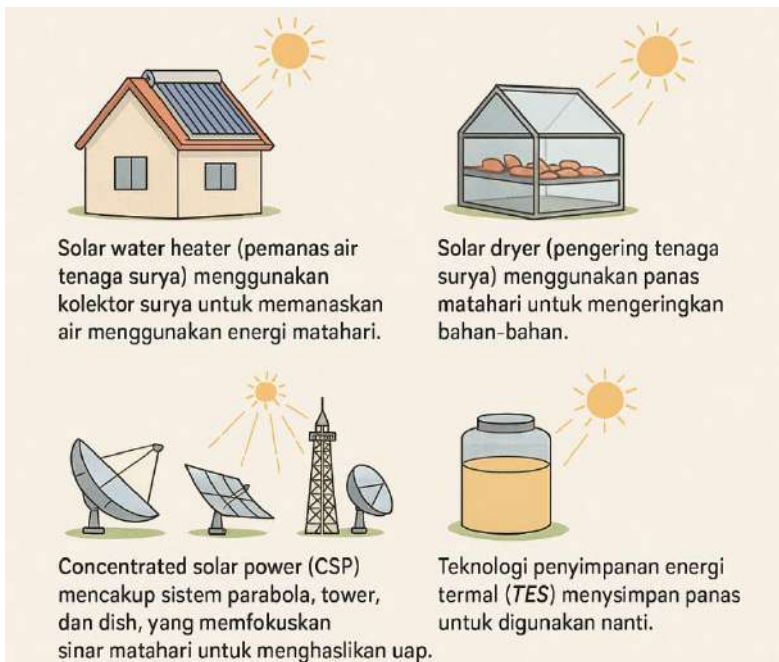
- a. ***Parabolic Trough***: Menggunakan reflektor berbentuk parabola untuk memfokuskan cahaya pada pipa penerima yang berisi fluida kerja.
- b. ***Solar Power Tower***: Menggunakan banyak heliostat (cermin datar yang mengikuti matahari) untuk memfokuskan cahaya ke receiver di atas menara.
- c. ***Dish Stirling System***: Menggunakan reflektor berbentuk parabola dish untuk memfokuskan cahaya ke titik fokus, biasanya dikombinasikan dengan mesin Stirling.

#### 4. Teknologi Penyimpanan Energi Termal (*Thermal Energy Storage - TES*)

TES memungkinkan penyimpanan panas yang diperoleh dari energi surya untuk digunakan di waktu yang berbeda, terutama saat matahari tidak bersinar. Teknologi ini penting untuk menjamin kontinuitas sistem energi berbasis surya.

Jenis TES meliputi:

- a. **Sensible Heat Storage:** Menyimpan panas dengan menaikkan suhu material seperti batu, air, atau garam.
- b. **Latent Heat Storage:** Menggunakan material fase perubahan (PCM) yang menyerap dan melepaskan panas saat melebur dan membeku.
- c. **Thermochemical Storage:** Berdasarkan reaksi kimia yang menyerap atau melepaskan panas.



**Gambar 2.3.** Energi Surya Termal (sumber : Kumar,2022)

## 2.4 Inovasi Energi Surya

### 2.4.1 Sistem PLTS

Berdasarkan teknologi yang digunakan PLTS dibagi menjadi dua sistem yaitu sistem PLTS *grid-connected* dan PLTS *Off – Grid (Stand Alone)*.

#### 1. Sistem PV *On-Grid*

Merupakan sistem yang terhubung ke jaringan listrik (PLN). Energi listrik yang dihasilkan dapat langsung digunakan oleh beban dan kelebihan energi dikirim ke jaringan, umumnya menggunakan sistem net metering. Keunggulan sistem ini adalah biaya sistem lebih rendah karena tidak memerlukan baterai, serta efisiensi lebih tinggi.

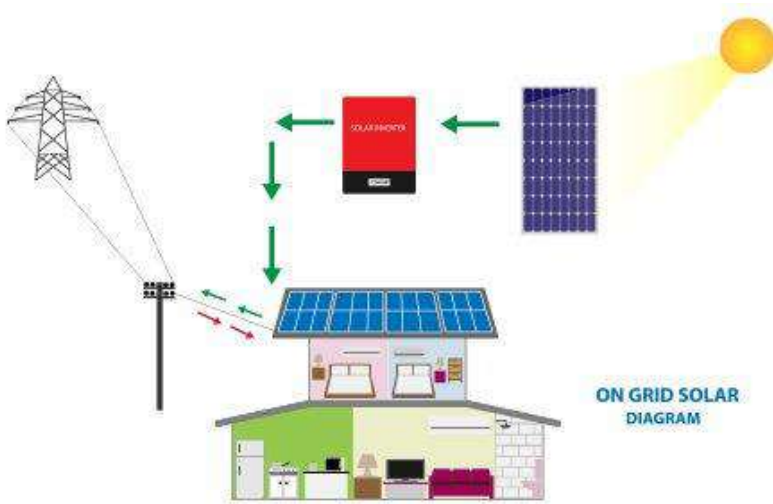
Komponen utama:

- a. Panel surya
- b. Inverter grid-tie
- c. Meter energi dua arah
- d. Monitoring system

Contoh: Rumah dengan sistem 3 kWp di Jakarta dapat menghasilkan sekitar 360 kWh/bulan dan menurunkan tagihan listrik hingga 30–50%, tergantung konsumsi dan pola penggunaan (Kementerian ESDM, 2020).

**Manfaat:** Sistem *On-Grid* adalah sistem paling sederhana dan paling hemat biaya untuk menginstal energi panel surya. Sistem ini akan mencapai ROI dengan mengimbangi tagihan PLN dalam 3-8 tahun.

**Kelemahan:** Sistem *On-Grid* tidak memberikan daya cadangan selama pemadaman jaringan



**Gambar 2.4.** PV on-Grid (sumber : WMA, 2019)

## 2. Sistem PV Off-Grid

Merupakan sistem mandiri yang tidak terhubung ke jaringan listrik. Cocok digunakan di daerah terpencil atau tanpa akses PLN. Sistem ini membutuhkan bank baterai untuk menyimpan energi, dan charge controller untuk mengatur pengisian baterai.

Komponen utama:

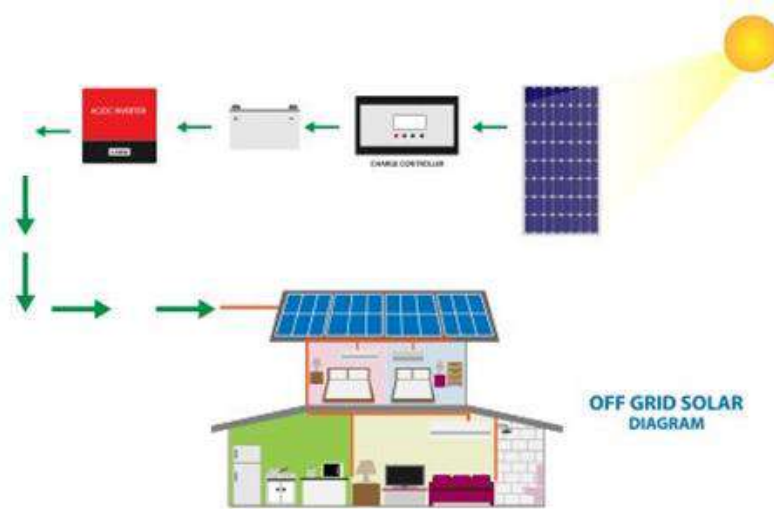
- Panel surya
- Charge controller* (PWM/MPPT)
- Baterai (Li-ion, AGM, gel)
- Inverter (jika beban AC)

Kapasitas sistem harus disesuaikan dengan jumlah beban harian, misalnya sistem 1 kWp dapat mensuplai beban 3–4 lampu LED, kipas angin, dan pengisian ponsel selama 4–5 jam/hari dalam kondisi insolasi 5 kWh/m<sup>2</sup>/hari.

**Manfaat:** Sistem *Off-Grid* mampu menyediakan daya cadangan untuk beban kritis saat jaringan listrik mati.

**Kelemahan:** Sistem *Off-Grid* ini tidak dapat diharapkan memberikan daya untuk semua beban listrik rumah anda karena biaya dan volume baterai akan menjadi penghalang.

Sistem *Off-Grid* membutuhkan lebih banyak peralatan khusus agar berfungsi yang lebih mahal dan lebih rumit untuk dipasang. Khususnya mereka memerlukan inverter sentral/ string, meteran kWh dan baterai.



**Gambar 2.5.** PV *Off-Grid* (sumber : WMA, 2019)

## 2.4.2 Sistem Penyimpanan Energi Surya

### 1. Baterai *Lithium-Ion*

Baterai lithium-ion adalah teknologi penyimpanan energi yang paling umum digunakan dalam sistem energi surya saat ini. Keunggulannya meliputi efisiensi tinggi (sekitar 90–95%), kepadatan energi yang tinggi, dan umur siklus yang panjang (hingga 10.000 siklus tergantung pada jenis dan kondisi operasi).

### 2. Baterai *Lead-Acid*

Baterai lead-acid, termasuk tipe *flooded* dan *sealed* (AGM/Gel), telah digunakan selama beberapa dekade dalam aplikasi penyimpanan energi. Biaya awal baterai jenis ini lebih rendah dan baterai ini memiliki efisiensi yang juga rendah (sekitar 70–85%) dan umur siklus yang lebih pendek dibandingkan dengan baterai lithium-ion.

### 3. Baterai Aliran (*Flow Batteries*)

Baterai aliran, seperti vanadium redox flow batteries, menawarkan keunggulan dalam skala besar dan aplikasi yang memerlukan siklus pengisian dan pengosongan yang sering. Meskipun efisiensinya sekitar 65–80%, baterai ini memiliki umur siklus yang sangat panjang dan kapasitas yang besar.

Efisiensi sistem penyimpanan energi, khususnya baterai, diukur dengan *round-trip efficiency*, yaitu rasio antara energi yang dikeluarkan kembali ke sistem dibandingkan dengan energi yang disimpan. Baterai lithium-ion memiliki round-trip efficiency sekitar 86%. Degradasi baterai dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu operasi, kedalaman pengosongan (*Depth of Discharge*), dan laju pengisian/pengosongan. Baterai lithium iron phosphate (LFP) menunjukkan umur siklus yang lebih panjang dibandingkan dengan jenis lainnya, dengan degradasi yang lebih lambat dalam kondisi operasi yang optimal.

#### 2.4.3 Inovasi Energi Surya Pada Bangunan

Solar windows adalah jendela yang dilengkapi dengan teknologi fotovoltaik untuk mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik, sambil tetap berfungsi sebagai elemen bangunan yang transparan dan insulatif. Teknologi ini menawarkan solusi integrasi energi terbarukan dalam desain arsitektur modern.

Solar windows biasanya menggunakan sel surya transparan berbasis perovskit atau organik yang terintegrasi langsung ke dalam kaca. Sebuah studi pada tahun 2025 menunjukkan bahwa sel surya transparan ini mencapai efisiensi konversi energi sebesar 12,3%, sebanding dengan panel surya komersial tradisional. Teknologi ini memungkinkan jendela tetap transparan hingga 30%, sehingga tetap dapat berfungsi sebagai elemen desain bangunan yang estetik dan fungsional.

*Building Integrated Photovoltaics* (BIPV) adalah teknologi yang mengintegrasikan sistem fotovoltaik langsung ke dalam elemen bangunan, seperti atap, fasad, jendela, dan dinding.

Teknologi ini tidak hanya menghasilkan energi listrik dari cahaya matahari, tetapi juga berfungsi sebagai bagian dari struktur bangunan, menggantikan bahan konstruksi konvensional seperti atap atau dinding. BIPV menawarkan solusi estetis dan efisien untuk bangunan berenergi rendah atau netral.

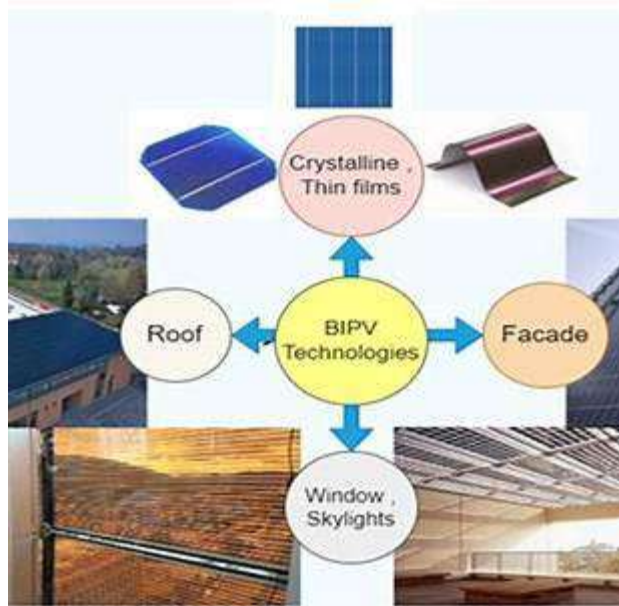
BIPV bekerja dengan mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui panel surya yang terintegrasi dalam elemen bangunan. Efisiensi konversi energi dari sistem BIPV bervariasi tergantung pada jenis teknologi yang digunakan. Panel berbasis silikon kristalin dapat mencapai efisiensi antara 15% hingga 20%, sementara panel berbasis film tipis biasanya memiliki efisiensi sekitar 10% hingga 12%.

Pasar BIPV global diperkirakan bernilai USD 23,4 miliar pada tahun 2023 dan diproyeksikan tumbuh dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR, *Compound Annual Growth Rate*) lebih dari 20% dari tahun 2024 hingga 2032. Di Eropa, pasar BIPV diperkirakan mencapai USD 11,36 miliar pada tahun 2024 dan diproyeksikan tumbuh menjadi USD 87,51 miliar pada tahun 2034, dengan CAGR sebesar 22,64%.

Integrasi BIPV dapat dilakukan pada berbagai elemen bangunan:

1. *Atap*: Menggantikan atap konvensional dengan panel surya, menghasilkan energi sambil melindungi bangunan.
2. *Fasad dan Dinding*: Panel surya terintegrasi pada dinding luar bangunan, mengonversi cahaya matahari menjadi listrik sambil berfungsi sebagai penutup bangunan.
3. *Jendela*: Menggunakan kaca surya transparan yang memungkinkan cahaya masuk ke dalam ruangan sambil menghasilkan energi.

Keuntungan utama dari BIPV meliputi pengurangan konsumsi energi eksternal, pengurangan emisi karbon, dan peningkatan nilai estetika bangunan.



**Gambar 2.6.** Integrasi Bangunan dan Sel Surya  
(sumber : sunstyle,2023)

## DAFTAR PUSTAKA

- Green, M. A. (2021). *Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion*. Springer.
- Tiwari, G. N., & Dubey, S. (2010). *Fundamentals of Photovoltaic Modules and their Applications*. Royal Society of Chemistry.
- Sunstyle. *What Are Building Integrated Photovoltaics*. (online). Tersedia : <https://www.sunstyle.com/perspectives/what-are-building-integrated-photovoltaics-bipv/>. [Diakses : 11 April 2025]
- Kementerian ESDM RI. (2020). *Outlook Energi Surya Nasional*. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE.
- Bumi Energi Surya. *Sel Surya (Solar Cell): Pengertian dan Prinsip Kerja*. [Online]. Tersedia: <https://bumienergisurya.com/sel-surya-solar-cell-pengertian-dan-prinsip-kerja/>. [Diakses: 11-April-2025].
- Energy.gov. *Solar Integration: Solar Energy and Storage Basics*. (online). Tersedia : <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-solar-energy-and-storage-basics>. [Diakses : 11 April 2025]
- Wiratama Mitra Abadi. *Perbedaan Antara Sistem On dan Off Grid*. (online). Tersedia: <https://www.wmablog.com/2019/03/perbedaan-antara-sistem-off-grid-dan.html>. [Diakses : 11 April 2025].
- Kumar, A., & Hasan, M. I. (2022). *Solar Energy: Fundamentals, Design, Modelling and Applications*. Elsevier
- International Energy Agency (IEA). (2020). *World Energy Outlook 2020*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>

# BAB 3

## TEKNOLOGI ENERGY ANGIN

### 3.1 Pendahuluan

Tenaga bayu atau tenaga angin menjadi potensi energi terbarukan yang cukup besar untuk menghasilkan listrik. Negara Indonesia secara geografis terletak di sepanjang garis ekuator (khatulistiwa) sehingga memiliki potensi energi angin yang cukup besar. Pada wilayah timur Indonesia seperti daerah kepulauan nusa tenggara seperti NTT, NTB, Sulawesi selatan dan wilayah pantai selatan Jawa memiliki potensi energi angin yang besar. Rata- rata kecepatan angin pada daerah tersebut sebesar 5 m/s, sedangkan di wilayah bagian bagian Indonesia seperti pulau sumatra dan kalimantan cenderung lebih rendah dari nilai tersebut. Berikut adalah tabel potensi angin di Indonesia :

**Tabel 3.1.** Potensi Energi Angin di Indonesia

| No. | Provinsi          | Potensi (MegaWatt) |
|-----|-------------------|--------------------|
| 1   | Aceh              | 894 MW             |
| 2   | Banten            | 1.753 MW           |
| 3   | Bali              | 1.019 MW           |
| 4   | Bangka Belitung   | 1.787 MW           |
| 5   | Bengkulu          | 1.513 MW           |
| 6   | DKI. Jakarta      | 4 MW               |
| 7   | D.I. Yogyakarta   | 1.079 MW           |
| 8   | Gorontalo         | 137 MW             |
| 9   | Jambi             | 37 MW              |
| 10  | Jawa Barat        | 7.036 MW           |
| 11  | Jawa Tengah       | 5.213 MW           |
| 12  | Jawa Timur        | 7.907 MW           |
| 13  | Kalimantan Barat  | 554 MW             |
| 14  | Kalimantan Tengah | 908 MW             |

|              |                     |                  |
|--------------|---------------------|------------------|
| 15           | Kalimantan Timur    | 212 MW           |
| 16           | Kalimantan Selatan  | 1.006 MW         |
| 17           | Kalimantan Utara    | 73 MW            |
| 18           | Kepulauan Riau      | 922 MW           |
| 19           | Lampung             | 1.137 MW         |
| 20           | Maluku              | 3.188 MW         |
| 21           | Maluku Utara        | 504 MW           |
| 22           | Nusa Tenggara Barat | 2.605 MW         |
| 23           | Nusa Tenggara Timur | 10.188 MW        |
| 24           | Papua               | 554 MW           |
| 25           | Papua Barat         | 437 MW           |
| 26           | Riau                | 22 MW            |
| 27           | Sulawesi Barat      | 437 MW           |
| 28           | Sulawesi Tengah     | 908 MW           |
| 29           | Sulawesi Tenggara   | 1.414 MW         |
| 30           | Sulawesi Selatan    | 4.193 MW         |
| 31           | Sulawesi Utara      | 1.214 MW         |
| 32           | Sumatera Barat      | 428 MW           |
| 33           | Sumatera Utara      | 356 MW           |
| 34           | Sumatera Selatan    | 301 MW           |
| <b>Total</b> |                     | <b>60.647 MW</b> |

Sumber : Lampiran Peraturan Presiden N0.22 Tahun 2017

Pada mulanya, turbin angin digunakan oleh para petani untuk mengolah gandum, kebutuhan irigasi, mengeringkan bendungan dan lain- lain. Negara- negara Eropa seperti Belanda dan Denmark merupakan negara- negara asal mula turbin angin ini di gunakan. Angin digunakan untuk memutar roda kemudian gerakan ini ditransfer ke generator untuk menghasilkan listrik. Prinsip kerja turbin angin adalah menggunakan energi kinetik angin yang mengalir untuk memutar baling -baling turbin angin. Rotasi baling -baling dikonversi menjadi energi mekanik

(rotasi). Energi mekanis baling -baling digunakan untuk mengubah generator yang menghasilkan listrik. Indonesia memiliki potensi besar untuk energi angin, dengan perkiraan 15,9 GW. Ini adalah peluang besar untuk mengembangkan PLTB di berbagai wilayah Indonesia.

**Tabel 3.2.** Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik

| <b>Tingkat kecepatan angin 10 meter di atas permukaan tanah</b> |                            |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kelas Angin</b>                                              | <b>Kecepatan Angin m/s</b> | <b>Kondisi Alam di Daratan</b>                                                        |
| 1                                                               | 0 – 0,2                    | —                                                                                     |
| 2                                                               | 0,3 – 1,5                  | Hembusan angin terasa tenang, jika ada asap bergerak tegak lurus ke atas              |
| 3                                                               | 1,6 – 3,3                  | Gerakan asap mengikuti arah angin                                                     |
| 4                                                               | 3,4 – 5,4                  | Angin terasa di wajah, dedaunan terlihat bergoyang                                    |
| 5                                                               | 5,5 – 7,9                  | Angin dapat menerbangkan kertas dan debu di jalan                                     |
| 6                                                               | 8 – 10,7                   | Kain berkibar, pohon bergoyang, debu betrebangan                                      |
| 7                                                               | 10,8 – 13,8                | Cabang besar pohon bergerak                                                           |
| 8                                                               | 13,9 – 17,1                | Telinga dapat merasakan adanya suara hembusan angin, bagian pohon ujungnya melengkung |
| 9                                                               | 17,2 – 20,7                | Berhembus kencang dan dapat membuat cabang pohon menjadi patah.                       |
| 10                                                              | 20,8 – 24,4                | Jalan melawan arah angina terasa berat, dapat mematahkan cabang pohon                 |

| Tingkat kecepatan angin 10 meter di atas permukaan tanah |                     |                                      |
|----------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| Kelas Angin                                              | Kecepatan Angin m/s | Kondisi Alam di Daratan              |
| 11                                                       | 24,5 – 28,4         | Pohon tumbang, menyebabkan kerusakan |
| 12                                                       | 28,5 – 32,6         | Menyebabkan kerusakan parah          |
| 13                                                       | 32,7 – 36,9         | Angin putting beliung                |

Sumber : Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Daryanto, Y., 2007)

## 3.2 Prinsip Kerja Turbin Angin

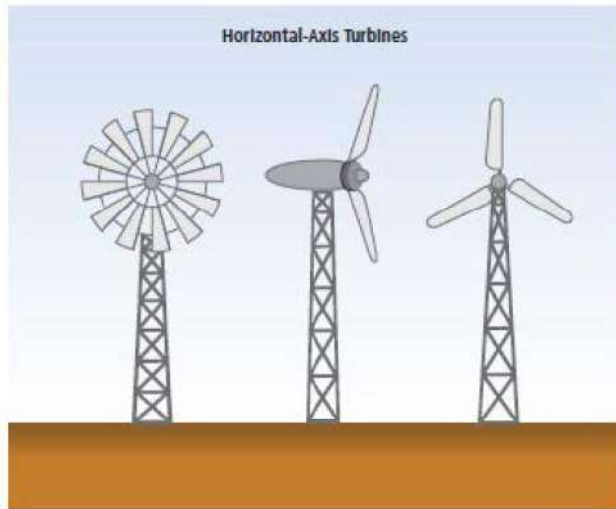
Poros turbin pada turbin angin dapat menghasilkan energi listrik dengan cara memanfaatkan energi hembusan angin yang dapat memutar poros turbin. Poros turbin angin ini selain dapat di gunakan untuk memutar generator, putaran poros ini juga bisa secara langsung dimanfaatkan seperti untuk memompa air laut ke tambak pada industri pengolahan garam. Pada saat ini banyak sekali pemanfaatan turbin untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Secara umum turbin angin terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Turbin angin sumbu vertikal. (TASV).
2. Turbin angin sumbu horizontal (TASH).

### 3.2.1 Turbin Sumbu Horizontal (TASH)

Generator listrik dan poros utama berada di bagian puncak menara turbin angin sumbu horizontal (TASH). Pada turbin angin horizontal terdapat baling - baling angin sederhana berfungsi mengarahkan turbin yang berukuran kecil, namun dapat juga sensor angin yang digabungkan dengan motor servo pada turbin yang kapasitasnya lebih besar. Guna mengatur putaran kincir, maka digunakan sebuah *gear box* yang dapat mempercepat atau memperlambat putaran. Adanya turbulensi pada bagian belakang menara kincir angin, sehingga turbin

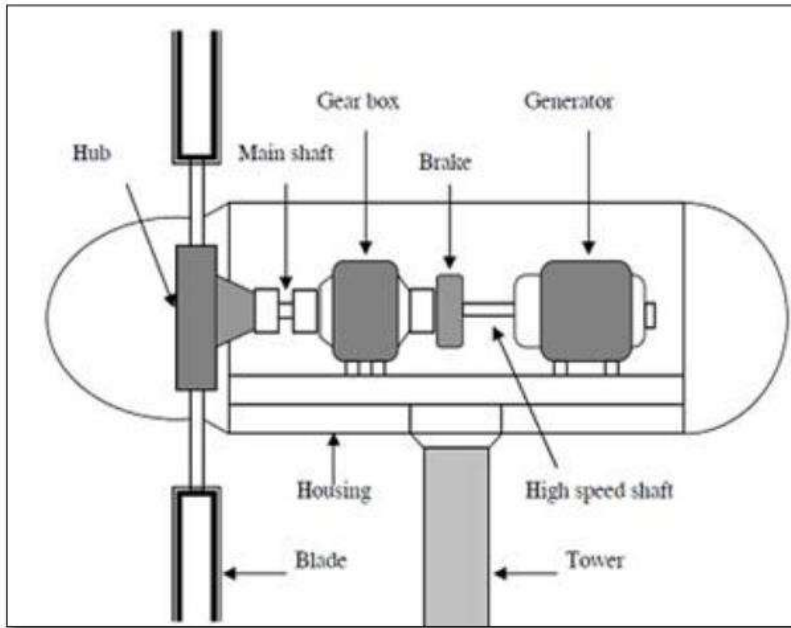
biasanya diarahkan melawan ke arah angin. Baling- baling turbin dibuat keras sehingga tidak terdorong menuju menara jika terjadi angin berkecepatan tinggi. Selain itu, baling- baling terletak pada jarak tertentu di depan menara dan sedikit miring. Salah satu penyebab kerusakan struktur menara adalah karena turbulensi, sehingga sebagian besar TASH adalah mesin upwind (melawan datangnya arah angin). Terlepas dari masalah turbulensi, mesin *downwind* (searah datangnya angin) karena tidak membutuhkan banyak mekanisme tambahan. Jika angin yang berhembus sangat kencang mesin ini memiliki baling – baling yang dapat di lipat sehingga dapat mengurangi tahanan angin dari baling- baling tersebut.



**Gambar 3.1.** Turbin angin poros horizontal.  
(Sumber : Daryanto, 2007)

Turbin angin sumbu horizontal terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan jumlah sudu yang di gunakan:

1. Turbin angin *single blade* (satu sudu)
2. Turbin angin *double blade* (dua sudu)
3. Turbin angin *three blade* (tiga sudu)
4. Turbin angin *multi blade* (banyak sudu)



**Gambar 3.2.** Komponen utama turbin angin sumbu horizontal  
(Sumber : Daryanto, 2007)

Adapun keunggulan penggunaan TASH adalah : (1) Setiap sepuluh meter ke atas di beberapa titik pergeseran angin, kecepatan angin akan bertambah kurang lebih sebesar 20 %, (2) Menara turbin yang tinggi menyebabkan turbin ini lebih mudah mendapatkan angin yang lebih kuat ditempat – tempat yang terdapat geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya lebih dekat dengan atmosfer bumi).

Namun penggunaan turbin angin sumbu horizontal juga mempunyai beberapa kekurangan diantaranya adalah : (1) Proses pemasangan turbin yang agak sulit, karena turbin angin horizontal yang tinggi. Sehingga membutuhkan tenaga ahli yang terampil dan crane yang membutuhkan biaya mahal. (2) Panjang bila yang dapat mencapai 90 meter dan menara yang cukup tinggi mengakibatkan sulitnya proses pengangkutan. Biaya transportasi turbin angin diperkirakan dapat mencapai sekitar 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin. (3) TASH yang

tinggi bisa memengaruhi radar airport. (4) Komponen-komponen turbin seperti baling- baling yang berat, gearbox, dan generator, sehingga membutuhkan tiang penyangga yang kuat. (5) Tampilan *landscap* menjadi kurang bagus dan menghalangi jangkauan penglihatan karena ukuran turbin yang tinggi. (6) TASH tidak dapat membelokkan dengan otomatis searah hembusan angin sehingga membutuhkan mekanisme kontrol yaw tambahan, (7) Adanya turbulensi menyebabkan kerusakan struktur pada beberapa varian downwind.

### 3.3.2 Turbin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki posisi vertikal poros/ poros utama yang posisinya tegak lurus. Salah satu keunggulan turbin jenis ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke arah datangnya angin untuk dapat bekerja secara efektif. Pada daerah- daerah tertentu yang arah hembusan anginnya berpindah- pindah, maka turbin vertikal ini sangatlah sesuai untuk di gunakan. Turbin angin vertikal dapat menggunakan energi angin yang berasal dari berbagai arah hembusan. Sumbu vertikal memungkinkan *gearbox* (roda gigi) dan generator dan diletakkan pada dengan dasar daratan, sehingga tidak dibutuhkan adanya menara yang cukup tinggi dan mudah diakses untuk melakukan perawatan. Namun, ini berarti banyak desain menghasilkan rotasi. Daya yang menahan pergerakan benda padat melalui tarikan (cair atau gas) dapat dihasilkan dengan memutar roda. Karena sulit untuk dipasang di menara, sumbu rodol sering ditempatkan di dekat pangkalan tempat ia berada. Berdasarkan penggunaan prinsip *aerodinamik* rotor, terdapat dua jenis terbin angin vertikal yaitu jenis turbin angin Darrires dan turbin angin Savonius.

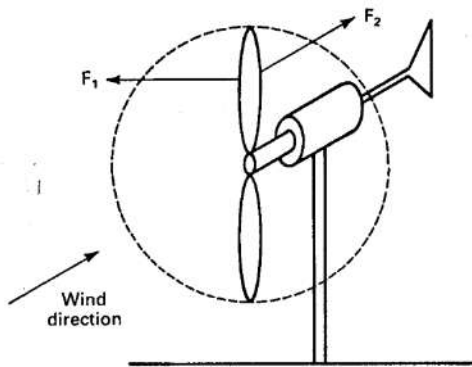
#### 1. Turbin Angin *Darrieus*

Turbin angin *Darrieus* pertama kali ditemukan pada tahun 1931 oleh Georges Darieus. Turbin *Darieus wind* adalah jenis turbin angin yang memanfaatkan hukum aerodinamika dengan mengekstraksi output lift garis dengan ekstraksi energi angin. Turbin jenis ini umumnya dikenal sebagai turbin *eegbeater*.



**Gambar 3.3.** Turbin angin Darrieus tipe-H  
(Sumber : Daryanto, 2007)

Turbin Darrieus membutuhkan cukup besar energi awal untuk berputar. Namun energi listrik yang dihasilkan turbin Darrieus lebih tinggi dari turbin Savonius. Hal ini karena torsi rotor turbin Darrieus ini cukup rendah, tetapi rotasinya lebih tinggi dari turbin angin Savonius. Turbin Darrieus biasanya memiliki dua atau tiga buah blade (baling-baling) pada bagian rotornya. Perubahan pada rotor turbin angin Darrieus adalah H.



**Gambar 3.4.** Arah angin pada sudu turbin  
(Sumber : Daryanto, 2007)

## 2. Turbin Angin Savonius

Insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pertama kali membuat turbin angin Savonius pada tahun 1922. Terdapat dua baling-baling berbentuk setengah silinder pada turbin angin sumbu vertikal yang dirangkai membentuk mirip dengan huruf "S",

dengan sisi berbentuk setengah silinder cembung dan sisi cekung yang dilewati angin. Rotor pada turbin menggunakan gaya hambat (*drag*) untuk mendapatkan energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin berdasarkan prinsip *aerodinamis*. Rotor berputar karena koefisien hambat pada permukaan cembung lebih kecil daripada pada permukaan cekung, sehingga sisi cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar daripada sisi lain. Pada setiap turbin angin menggunakan gaya hambat tidak efisien, karena kecepatan putar baling-baling tidak dapat melebihi laju angin yang melaluinya.

Kelebihan TASV adalah : (1) Perawatan turbin angin vertikal bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah, karena letaknya lebih dekat ke tanah. (2) Pada turbin vertikal tidak membutuhkan mekanisme yaw karena bilah-bilah rotornya vertikal, sehingga tidak dibutuhkan menara yang tinggi. (3) Drag pada tekanan tinggi cenderung rendah karena sudut airfoil (permukaan bilah yang saat udara mengalir di sekitarnya, mampu mengurangi hambatan udara) yang lebih tinggi pada turbin vertikal dapat memberikan gaya aerodinamis yang tinggi. (4) Pada TASV memiliki area tiupan angin yang lebih besar pada diameter tertentu jika di dibandingkan dengan area tiupan yang berbentuk lingkaran pada TASH, karena desain TASV memiliki berbilah lurus atau berbentuk kotak atau empat persegi panjang dengan potongan melintang. (5) Turbin angin vertikal dapat membangkitkan energi listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h.) karena kecepatan awal angin yang dibutuhkan pada turbin vertikal lebih rendah daripada turbin angin horisontal. (6). Pada area-area dimana struktur yang lebih tinggi tidak boleh dibangun turbin angin sumbu vertikal (TASV), turbin horisontal masih dapat di bangun. (7) Jika arah angin berubah, posisi TASV tidak perlu berubah, hal ini karena posisi TASV yang dekat dengan tanah sehingga memperoleh keuntungan aliran energi angin dari berbagai area serta meningkatnya kecepatan aliran angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak

bukit). (8) Burung akan menghindari kincir pada TASV karena kincirnya yang mudah dilihat. (9) TASV tidak mudah rusak jika terjadi hembungan angin yang kencang karena turbin ini memiliki perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin (*tip speed ratio*) yang lebih rendah.

Kekurangan turbin angin sumbu vertikal adalah (1) Pada sudut elevasi yang lebih tinggi turbin angin sumbu vertikal tidak dapat memanfaatkan angin yang melaju lebih kencang. (2) Energi yang dihasilkandari turbin angin sumbu vertikal kurang lebih hanya 50% dari efisiensi, karena pada saat kincir berputar terdapat *drag* (gaya hambat yang bekerja melawan arah gerak) tambahan. (3) Adanya tekanan pada bantalan dasar karena penggunaan kabel penyangga rotot sehingga membuat semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Hal ini akan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup akibat kabel yang dikaitkan pada puncak bantalan. (4) Pada saat awal berputar sumbu angin vertikal membutuhkan energi yang lebih besar karena mempunyai torsi awal yang rendah.

### **3.3 Komponen-Komponen Turbin Angin**

#### **3.3.1 Komponen Turbin Angin Horizontal**

Turbin angin sumbu horisontal terdiri dari komponen utama yang diantara adalah : (1) sudu (*blade*), (2) rotor hub, (3) rem dan kopling, (4) poros rotor, (5) generator, (6) yaw sistem kontrol.

1. Sudu (*blade*) berfungsi mengubah energi potensial yang berasal dari tiupan angin menjadi energi gerak (*kinetic*) guna menghasilkan listrik dengan memutar generator. Panjang baling-baling (*blade*) menentukan besarnya energi mekanik yang dapat memutar generator, semakin panjang blade maka akan tiupan angin yang diterima akan semakin banyak juga. Guna menambah atau mengurangi kecepatan putar pada generator maka ditambahkan *gearbox* sebelum poros baling-baling tersambung dengan generator turbin.

2. Rotor Hub

Komponen hub ini berfungsi menghubungkan poros utama (*shaft*) dengan sudu yang terdapat pada rotor.

3. Rem dan Kopling

Guna memberikan keamanan pada saat melakukan perbaikan turbin, maka sistem rem berfungsi menghentikan laju putaran poros rotor pada turbin angin. Selain itu rem ini juga berfungsi ketika terjadi kecepatan angin yang cukup besar yang dapat menyebabkan kerusakan pada turbin. Sedangkan guna mentransfer daya poros transmisi ke *gearbox* atau terhubung langsung dengan generator, kopling digunakan untuk mengurangi getaran yang ditimbulkan oleh poros rotor serta sebagai salah satu cara meluruskan *alignment* (sambungan) pada turbin angin.

4. Poros rotor

Daya dari rotor ke generator dapat di pindahkan menggunakan poros rotor. Perpindahan daya ini dapat dilakukan melalui proses kerja (mekanisme) transmisi roda gigi (*gearbox*) ataupun secara langsung.

5. Generator

Fungsi generator pada turbin angin adalah untuk menghasilkan energi listrik dengan mengubah gerakan mekanik (putar) dari kincir angin, hal ini menyebabkan menjadi komponen terpenting dalam sistem turbin angin. Generator dapat menghasilkan arus listrik arus listrik searah (*direct current*) maupun arus listrik bolak-balik (*alternating current*) dan tegangan outputnya mulai dari (12 volt) pada tegangan rendah sampai tegangan (680 volt) atau lebih tergantung hembusan angin.

6. Yawing kontrol

Sistem geleng aktif (*active yawing system*) umumnya sudah di gunakan pada turbin angin yang relatif besar, yang diputar oleh motor servo. Fungsi utama dari kontrol yawing adalah menerima input dari sensor pendeteksi kecepatan angin (*anemometer*) dan sensor mendeteksi perubahan arah angin (*wind direction*). Sistem ini juga akan memberikan input kepada *control pitch* dan juga *signal*

kepada motor *servo* untuk mengubah arah shaft turbin sesuai arah angin.

### **3.3.2 Komponen Turbin Angin Vertikal**

Secara umum komponen beberapa komponen diantaranya rotor, sudu, stator yang terdapat pada turbin angin horizontal.

#### **1. Rotor**

Rotor berfungsi mengubah energi kinetik menjadi bentuk energi dalam bentuk rotasi gelombang. Rotor pada turbin angin mempunyai 16 magnet yang terpasang pada setiap permukaan. Namun, jika pada penempatan 16 magnet, terbagi menjadi 2 bagian masing- masing bagian terdapat 8 magnet, kedua bagian tersebut akan digabungkan sehingga magnet berada pada dua tingkat.

#### **2. Sudu**

Salah satu bagian penting dari sebuah turbin adalah sudu. Efisiensi pada turbin dapat ditingkatkan dengan meningkatkan daya angkat dari sudu, peningkatan daya angkat dapat dilakukan dengan penempatan posisi dan geometri sudu yang sesuai. Turbin akan mempunyai sudu yang baik jika terbuat bahan yang digunakan kuat tetapi memiliki massa yang ringan, sehingga sudu dapat menahan tegangan maupun beban yang diakibatkan oleh putaran rotor. Material serat karbon adalah bahan yang saat ini banyak dikembangkan sebagai bahan sudu turbin.

#### **3. Stator**

Stator adalah beberapa lilitan yang terbuat dari gulungan tembaga yang dilapisi oleh bahan isolator atau coil. Besarnya tegangan yang dapat dihasilkan oleh sebuah generator tergantung pada jumlah kumparan yang terdapat pada stator. Jumlah lilitan pada stator umumnya 1000 lilitan, biasa terdapat 4 kumparan, 6 kumparan, dan 8 kumparan pada sebuah stator dan setiap kumparan akan digabung secara seri sehingga didapat 1 fasa tegangan.

### 3.4 Perhitungan Daya Turbin Angin

Perhitungan daya turbin angin melibatkan beberapa parameter penting. Rumus dasar untuk menghitung daya turbin angin adalah  $P = 0,5 C_p \rho \pi R^2 V^3$ , di mana  $P$  adalah daya (Watt),  $C_p$  adalah koefisien kinerja,  $\rho$  adalah kerapatan udara,  $R$  adalah panjang bilah turbin, dan  $V$  adalah kecepatan angin. Beberapa parameter yang di perhatikan dalam perhitungan daya turbin angin adalah :

1. Elaborasi:

Daya yang Diproduksi ( $P$ ): Ini adalah output daya yang dapat diproduksi oleh turbin angin dalam satuan Watt (W) atau Kilowatt (kW).

2. Koefisien Kinerja ( $C_p$ ):

Ini adalah faktor yang menunjukkan tingkat efisiensi perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik yang dapat dilakukan turbin angin. Besarnya  $C_p$  biasanya antara 0,4 dan 0,5.

3. Kerapatan Udara ( $\rho$ ):

Ini adalah massa udara per satuan volume, biasanya dalam  $\text{kg/m}^3$ .

4. Panjang Bilah Turbin ( $R$ ):

Ini adalah jarak dari pusat rotor turbin ke ujung bilah dalam satuan meter (m).

5. Kecepatan Angin ( $V$ ):

Ini adalah kecepatan angin dalam m/s.

Contoh Perhitungan:

Misalkan kita memiliki turbin angin dengan:

$C_p = 0,45$ ,  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ ,  $R = 10 \text{ meter}$ ,  $V = 8 \text{ m/s}$ .

Maka daya yang dihasilkan ( $P$ ) adalah:

$P = 0,5 * 0,45 * 1,225 * \pi * 10^2 * 8^3 = 114.592,5 \text{ Watt}$  atau 114,59 kW

Adapun beberapa parameter lain yang mempengaruhi adalah :

1. Tinggi Menara:

Turbin angin yang dipasang di ketinggian yang lebih tinggi akan mendapatkan angin yang semakin kuat dan stabil, sehingga meningkatkan daya yang dihasilkan.

2. Kondisi Lingkungan:

Faktor seperti suhu, kelembapan, dan kontaminasi udara dapat mempengaruhi kinerja turbin angin.

3. Jenis Turbin:

Perbedaan karakteristik antara turbin angin sumbu horizontal (*horizontal axis wind turbine/HAWT*) dan turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine/VAWT*).

Perhitungan Keluaran Energi:

Untuk menghitung keluaran energi turbin angin selama periode waktu tertentu, dapat memakai rumus berikut:  $E = P * t$ , di mana E adalah energi (dalam kWh), P adalah daya rata-rata (dalam kW), dan t adalah waktu (dalam jam).

Contoh:

Jika turbin angin menghasilkan daya rata-rata 100 kW selama 24 jam, maka keluaran energi selama satu hari adalah:

$$E = 100 \text{ kW} * 24 \text{ jam} = 2.400 \text{ kWh}$$

Sumber Referensi:

Thunder Said Energy, LinkedIn, Amrita Virtual Lab, The Eco Experts, repo unpas (2017)

## DAFTAR PUSTAKA

- Ackermann, T. (Ed.). (2005). *Wind Power in Power Systems*. John Wiley & Sons.
- Ali, M., Jameel, A. T., & Rahman, M. A. (2020). "Review of Wind Turbine Technology and Design." *Energy Reports*, 6, 290–300.
- Bianchi, F. D., De Battista, H., & Mantz, R. J. (2007). *Wind Turbine Control Systems: Principles, Modelling and Gain Scheduling Design*. Springer.
- BPPT. (2019). *Potensi Energi Angin di Indonesia*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Retrieved from <https://bppt.go.id>
- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., & Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook* (2nd ed.). Wiley.
- Daryanto, Y., 2007, *Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Yogyakarta: BALAI PPTAGG – UPT-LAGG.
- Gipe, P. (2004). *Wind Power: Renewable Energy for Home, Farm, and Business* (2nd ed.). Chelsea Green Publishing.
- Hau, E. (2013). *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics* (3rd ed.). Springer.
- Islam, M. R., Mekhilef, S., & Saidur, R. (2013). "Progress and recent trends of wind energy technology." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 456–468.
- IRENA. (2020). *Future of Wind: Deployment, Investment, Technology, Grid Integration and Socio-economic Aspects*. International Renewable Energy Agency. Retrieved from <https://www.irena.org>
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

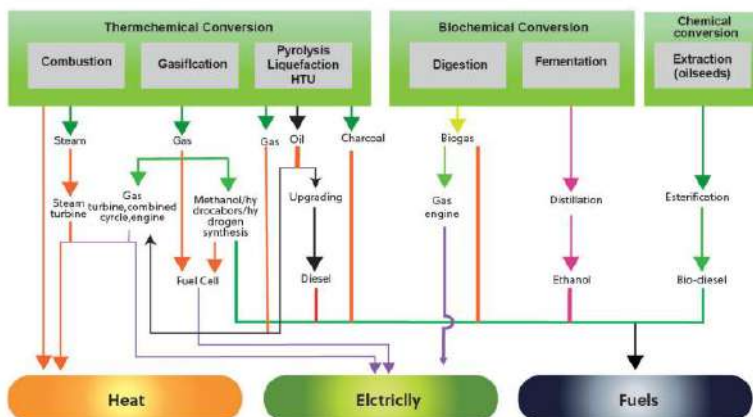


# BAB 4

## REKNOLOGI BIOMASA DAN BIOENERGI

### 4.1 Teknologi Energi Biomassa

Teknologi energi biomassa adalah teknologi yang digunakan untuk mengubah bahan organik (biomassa) menjadi energi yang berguna, seperti listrik, panas, atau bahan bakar cair. Biomassa sendiri mencakup berbagai jenis bahan organik yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan limbah organik, seperti kayu, limbah pertanian, sisa makanan, dan kotoran hewan. Dalam teknologi energi biomassa, bahan organik ini diolah melalui berbagai proses konversi untuk menghasilkan energi. Ada beberapa faktor yang memengaruhi pilihan teknologi konversi yang akan diterapkan pada biomassa. Faktor-faktor ini meliputi kualitas dan kuantitas bahan baku biomassa, ketersediaan, pilihan produk akhir, ekonomi proses, dan isu lingkungan.



**Gambar 4.1.** Teknologi Konversi Biomassa ( Faaij A, 2006)

4.1.1 Proses Konversi Biomassa Termokimia

Proses konversi biomassa termokimia adalah proses yang menggunakan energi panas dengan suhu tinggi untuk mengubah biomassa (bahan organik) menjadi produk yang lebih berguna, seperti bahan bakar, energi, atau bahan kimia. Proses ini terjadi dengan menggunakan suhu tinggi, dan sering kali melibatkan penggunaan tekanan, oksigen terbatas, atau tanpa oksigen sama sekali. Pada proses ini energi panas sebagai agen utama yang digunakan untuk mengubah biomassa menjadi energi yang dapat dimanfaatkan berbagai keperluan. Terdapat 5 (lima) jenis model proses termokimia dalam mengubah energi biomasa yaitu

- 1. Pembakaran (*Combustion*)
- 2. Karbonisasi (*Carbonization*/torrefaction
- 3. Pirolisis (*Pyrolysis*)
- 4. Gasifikasi (*Gasification*)
- 5. Hidrotermal Likuifasi (*Liquefaction*/hidrothermal)

Perbandingan kelima proses termokimia dapat dibedakan berdasarkan kisaran suhu yang digunakan saat pembakaran dengan melibatkan oksidasi eksotermik suhu tinggi (dalam lingkungan kaya oksigen) menjadi gas buang.

Tabel 4.1. Perbandingan Suhu Proses Konversi Termokimia

| Proses     | Suhu (C°)  | Tekanan (Mpa) | Katalist         | Pengeringan                |
|------------|------------|---------------|------------------|----------------------------|
| Likuifasi  | 250 - 330  | 5 - 20        | Wajib            | Tidak diperlukan           |
| Pirolisis  | 300 - 600  | 0.1- 0.5      | Tidak diperlukan | Wajib                      |
| Pembakaran | 700 - 1400 | >0.1          | Tidak diperlukan | Tidak wajib, tapi membantu |
| Gasifikasi | 500 - 1300 | > 0.1         | Tidak wajib      | wajib                      |
| Teropasi   | 200 - 300  | 0.1           | Tidak diperlukan | wajib                      |

Sumber: Demirbas (2009).

#### 4.1.2 Metode Pembakaran (*Combustion*)

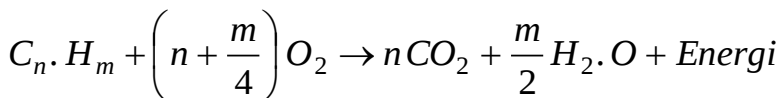
Konversi biomassa dengan proses pembakaran adalah salah satu cara untuk mengubah energi yang terkandung dalam biomassa (seperti kayu, limbah pertanian, atau bahan organik lainnya) menjadi energi panas atau listrik. Proses ini umumnya dilakukan melalui pembakaran langsung, yang menghasilkan panas untuk memanaskan air dan menghasilkan uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin atau mesin penggerak lainnya.



**Gambar 4.2.** Konversi biomassa Pembakaran langsung  
(Prabir Basu 2013)

Tahapan cara konversi biomassa dengan proses pembakaran sebagai berikut:

1. Pengumpulan dan persiapan biomassa: biomassa yang akan digunakan harus dikumpulkan dan diproses terlebih dahulu. Bahan ini bisa berupa kayu, jerami, sampah pertanian, atau bahkan limbah organik dari industri. Biomassa biasanya dipotong, diproses menjadi bentuk yang lebih kecil, dan dikeringkan untuk mengurangi kandungan air agar pembakaran lebih efisien.
2. Proses Pembakaran: pada proses pembakaran, biomassa dimasukkan ke dalam tungku pembakaran atau boiler. Ketika biomassa dibakar, energi yang terkandung dalam bahan tersebut dilepaskan dalam bentuk panas. Pembakaran ini menghasilkan gas panas, asap, dan abu. Reaksi kimia utama dalam pembakaran biomassa adalah reaksi antara karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) yang membentuk karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), serta pelepasan energi panas. Reaksi umum pembakaran biomassa adalah sebagai berikut.



Pada dasarnya proses pembakaran biomassa secara langsung menghasilkan emisi seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan partikulat. Meskipun biomassa dianggap sebagai sumber energi terbarukan karena karbon dioksida yang dilepaskan berasal dari sumber biomassa yang dapat ditanam kembali, pembakaran yang tidak efisien atau tidak terkendali bisa menyebabkan polusi udara. Oleh karena itu, teknologi pembakaran yang efisien dan sistem pemurnian gas (seperti filter atau sistem penangkap emisi) penting untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

#### 4.1.3 Metode Karbonisasi/Terofasi

Karbonisasi atau terofasi adalah proses pemanasan bahan organik, seperti biomassa (misalnya kayu, tanaman, atau limbah organik lainnya), pada suhu tinggi dalam kondisi terbatas oksigen atau tanpa oksigen. Proses ini mengubah bahan organik menjadi biochar atau arang dengan menghilangkan sebagian besar air, volatile, dan komponen organik lainnya. Pada umumnya, karbonisasi dilakukan pada suhu sekitar 200–300°C, yang menyebabkan pemecahan bahan organik menjadi karbon (C), gas, dan cairan. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kandungan karbon dalam bahan yang diproses, sehingga menghasilkan produk yang lebih stabil dan lebih tahan lama.

Adapun proses karbonisasi sebagai berikut:

1. Pemanasan: biomassa dipanaskan di dalam ruangan yang terbatas oksigen atau vakum, sehingga menghindari pembakaran langsung.
2. Degradasi termal: ketika biomassa dipanaskan, sebagian besar bahan organik terdegradasi dan menguap, menghasilkan gas dan cairan yang mudah terbakar. Sisa material yang tersisa mengandung sebagian besar karbon dan disebut biochar atau arang.

3. Pemanfaatan produk: produk yang dihasilkan, yaitu biochar, memiliki banyak kegunaan, terutama untuk meningkatkan kesuburan tanah, sebagai media penyerapan karbon dioksida (untuk mengurangi emisi gas rumah kaca), atau bahkan untuk keperluan energi.
4. Penggunaan produk karbonisasi (*biochar*) yaitu peningkatan kualitas tanah misalnya biochar digunakan sebagai bahan tambahan tanah untuk meningkatkan struktur tanah, memperbaiki retensi air, dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Kegunaan lain karbon biochar.
  - a. Penyerapan karbon biochar dapat berfungsi sebagai cara penyimpanan karbon dalam tanah, membantu mengurangi konsentrasi karbon dioksida di atmosfer (mitigasi perubahan iklim).
  - b. Penyaring atau adsorben: biochar dapat digunakan untuk menyaring air atau gas karena memiliki struktur pori yang besar, sehingga cocok untuk aplikasi di bidang pemurnian.

*Keuntungan karbonisasi:*

- a. Daya tahan tinggi: Biochar yang dihasilkan lebih stabil dan tidak mudah terdegradasi, menjadikannya bahan yang baik untuk penyimpanan karbon jangka panjang.
- b. Pengurangan emisi: Proses karbonisasi, jika dikelola dengan baik, dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dibandingkan dengan pembakaran langsung biomassa.
- c. Sumber energi: Beberapa produk gas dan cairan yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber energi atau bahan bakar.

*Metode karbonisasi*

Produk arang atau karbon aktif yang digunakan dalam berbagai industri, rumah tangga dapat dilakukan dengan berbagai macam metode antara lain

- a. Karbonisasi langsung (*Direct Carbonization*)  
Metode ini adalah yang paling sederhana dan langsung, di mana bahan organik dipanaskan pada suhu sekitar 400-600°C dalam kondisi terbatas oksigen. Produk utamanya adalah arang.
- b. Karbonisasi terpadu (*Integrated Carbonization*)

Dalam metode ini, bahan yang telah dikarbonisasi selanjutnya diproses lebih lanjut untuk menghasilkan produk sampingan seperti gas atau bio-oil. Biasanya melibatkan penggunaan alat yang lebih kompleks.

c. Karbonisasi reaktif (*Reactive Carbonization*)

Ini adalah metode karbonisasi yang melibatkan penggunaan zat pengoksidasi seperti uap atau gas tertentu untuk meningkatkan reaktivitas produk karbon yang dihasilkan.

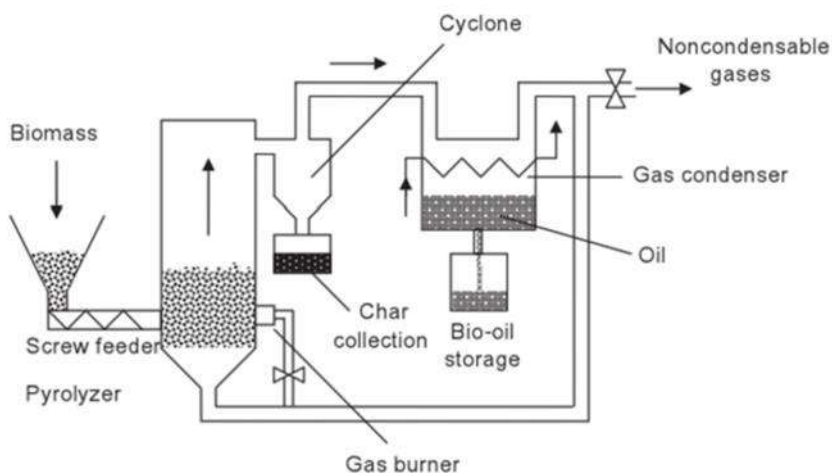
d. Karbonisasi pengolahan limbah (*Waste Carbonization*)

Proses karbonisasi ini dilakukan pada bahan-bahan limbah organik, seperti limbah pertanian atau sampah biomassa lainnya, dengan tujuan menghasilkan energi atau produk bernilai tambah lainnya.

#### **4.1.4 Metode Pirolisis**

Pirolisis adalah proses penguraian bahan organik melalui pemanasan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen. Proses ini menghasilkan produk-produk seperti gas, cairan, dan padatan yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Pirolisis banyak digunakan dalam pengolahan limbah, produksi energi, serta pembuatan bahan bakar alternatif.

Prinsip kerja pirolisis pada dasarnya, pirolisis melibatkan pemanasan bahan organik dalam kondisi yang sangat terbatas atau tanpa oksigen (anaerob). Karena tidak ada oksigen, bahan organik tidak akan terbakar, melainkan terurai menjadi produk-produk yang lebih sederhana. Reaksi kimia utama yang terjadi adalah dekomposisi termal dari senyawa-senyawa kompleks menjadi molekul yang lebih kecil.



**Gambar 4.3.** Diagram Proses Konversi Energi Meode Pirolisis (Prabir Basu, 2013)

Dalam proses pirolisis menghasilkan tiga produk utama yaitu Gas (Biogas biasanya terdiri dari metana ( $\text{CH}_4$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ), serta senyawa ringan lainnya (1) . Gas ini dapat digunakan sebagai sumber energi. Cairan (Bio-oil): Bio-oil adalah campuran senyawa organik yang berupa cairan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti minyak bumi (2) Padatan (Arang/Charcoal): Hasil padat yang terbentuk biasanya berupa karbon (arang), yang dapat digunakan sebagai bahan bakar, atau untuk keperluan lain seperti penyaring air atau tanah.

### **Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis**

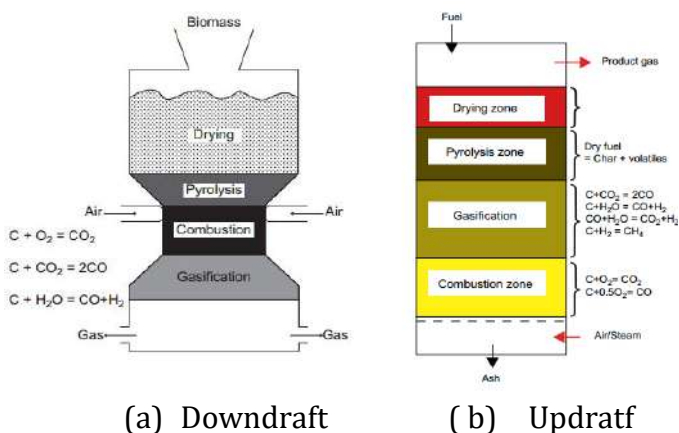
Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pirolisis antara lain:

1. Suhu yaitu semakin tinggi suhu, semakin banyak gas yang dihasilkan. Pada suhu rendah, produk utama adalah padatan (arang), sementara pada suhu yang lebih tinggi, lebih banyak gas dan bio-oil yang dihasilkan.
2. Jenis bahan merupakan sumber bahan organik (misalnya, limbah plastik, kayu, biomassa, atau karet) juga mempengaruhi jenis produk yang dihasilkan.

- Kecepatan pemanasan yaitu pemanasan akan mempengaruhi komposisi produk pirolisis. Pemanasan yang cepat cenderung menghasilkan lebih banyak gas dan bio-oil, sementara pemanasan yang lambat lebih banyak menghasilkan padatan.
- Dalam hal pembuatan biofuel pirolisis dapat digunakan untuk menghasilkan bahan bakar alternatif, seperti bio-oil, yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti minyak bumi.
- Produksi arang dalam industri pertanian, pirolisis dapat menghasilkan arang yang digunakan sebagai bahan bakar atau pupuk yang meningkatkan kualitas tanah.

#### 4.1.5 Metode Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses konversi bahan bakar padat, seperti batubara, biomassa, atau limbah, menjadi gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau sumber energi. Proses gasifikasi ini terjadi dalam reaktor gasifikasi, yang sering disebut sebagai gasifier, dengan cara membatasi oksigen dan mengubah bahan padat menjadi gas, seperti karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>). Ada berbagai jenis gasifier (misalnya, *fixed-bed*, *fluidised*, *pressurised*, dll.) Gasifier *fixed-bed* yang paling sederhana dan memiliki sejarah panjang dan telah lama digunakan baik berbagai percobaan dan penggunaan. [4]



**Gambar 4.4.** Skematik *fixed-bed* gasifikasi downdraft dan updraft (Prabir Basu, 2013)

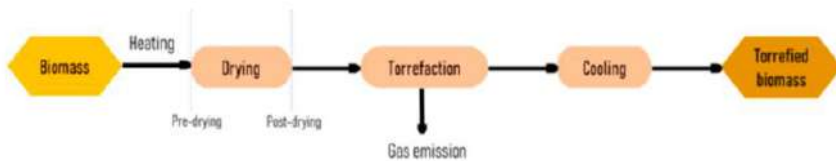
Proses gasifikasi terdiri dari beberapa tahapan yang saling berhubungan untuk mengubah bahan bakar padat (seperti batubara, biomassa, atau limbah) menjadi gas sintetis atau syngas yang dapat digunakan untuk pembangkit energi atau keperluan industri lainnya. Berikut adalah tahapan-tahapan dalam proses gasifikasi yang terjadi secara alamiah dalam proses gasifikasi

1. Proses pengeringan (*Drying*) yaitu menghilangkan kandungan air dalam bahan bakar dengan cara dipanaskan dengan aliran udara atau gas panas kemudian air yang terkandung dalam bahan bakar akan menguap. Proses pengeringan ini terjadi pada kisaran suhu 100-2000C.
2. Proses pirolisis (*Pyrolysis*) yaitu menguraikan bahan bakar menjadi gas volatil dan bahan padat dengan pemanasan pada suhu tinggi yang berkisar 250-5000C tanpa oksigen atau dengan oksigen terbatas. Proses ini menghasilkan gas (seperti karbon monoksida, metana, dan hidrogen), serta padatan yang disebut char (karbon terdekomposisi). Ketika bahan bakar dipanaskan lebih lanjut, senyawa organik dalam bahan bakar terurai menjadi gas dan char. Gas yang terbentuk dapat mengandung komponen seperti air ( $H_2O$ ), karbon monoksida ( $CO$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), metana ( $CH_4$ ), dan hidrokarbon lainnya.
3. Proses Oksidasi (*Oxidation*) menyediakan panas yang diperlukan untuk menjaga proses gasifikasi berlangsung. Dalam tahap oksidasi terjadi dengan sedikit oksigen atau udara dimasukkan ke dalam reaktor gasifikasi untuk memicu reaksi pembakaran parsial yang menghasilkan panas dengan kisaran suhu diatas 9000C. Pembakaran ini memberikan energi yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi dan menghasilkan gas-gas panas seperti karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan uap air ( $H_2O$ ). Oksigen terbatas (biasanya dalam jumlah lebih kecil dari yang diperlukan untuk pembakaran total) digunakan untuk memanaskan reaktor dan membantu mengubah bahan bakar menjadi gas-gas yang berguna
4. Proses reduksi (*Reduction*) yaitu menghasilkan gas utama dari interaksi karbon dengan gas-gas yang terbentuk. Pada

tahap ini, gas hasil pirolisis berinteraksi dengan char (karbon) di dalam reaktor gasifikasi. Reaksi kimia yang terjadi pada suhu tinggi diatas 3000C yang menghasilkan gas-gas seperti karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>), dan sedikit metana (CH<sub>4</sub>).

#### 4.1.6 Metode Terofaksi

Torefaksi merupakan teknologi yang sangat bermanfaat dalam konteks energi terbarukan, karena mengubah biomassa yang mungkin dianggap limbah menjadi sumber energi yang berguna. Torefaksi adalah proses yang digunakan untuk mengubah biomassa, seperti kayu, limbah pertanian, atau bahan organik lainnya, menjadi bahan bakar padat yang memiliki kandungan energi lebih tinggi. Proses ini dilakukan pada temperatur sekitar 200-300°C dalam kondisi tanpa udara (anaerobik). Dengan proses ini, biomassa yang awalnya memiliki kandungan air yang tinggi akan dikurangi, sehingga menghasilkan produk yang lebih padat dan lebih energik.



**Gambar 4.5.** Diagram Proses Terofaksi  
(Hwai Chyuan Ong dkk, 2021)

Proses torefaksi termasuk dalam kategori proses termokimia dan sering digunakan untuk menghasilkan bahan bakar alternatif, terutama dalam industri energi yang mencari cara untuk memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi yang lebih efisien. Adapun proses terofaksi sebagai berikut.

1. Pemanasan: biomassa dipanaskan pada suhu antara 200-300°C dalam kondisi tanpa oksigen (untuk mencegah pembakaran).
2. Pelepasan air: selama proses pemanasan, sebagian besar kandungan air dalam biomassa menguap.

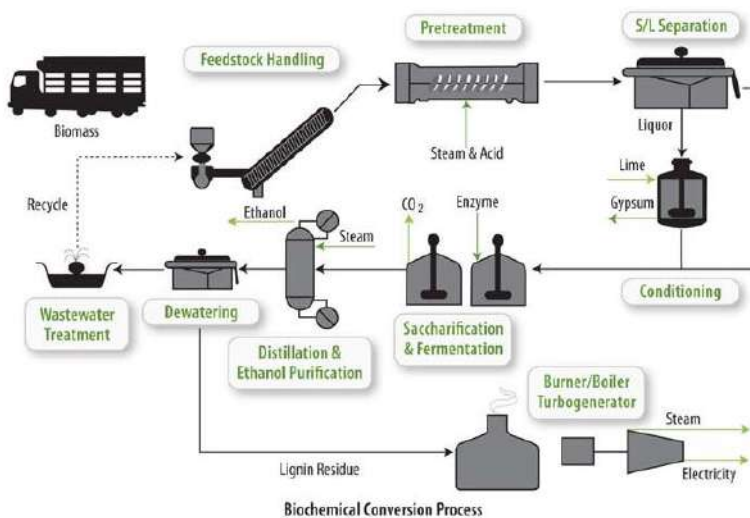
3. Peningkatan kepadatan energi: biomassa mengalami dekomposisi termal, menghasilkan produk padat yang lebih kaya energi, sering disebut sebagai biochar.
4. Hasil: produk akhir dari torefaksi adalah bahan bakar padat (dalam bentuk biochar) yang memiliki densitas energi lebih tinggi dan lebih mudah disimpan atau digunakan untuk pembakaran.

### ***Manfaat Torefaksi***

Meningkatkan nilai energi biomassa yang ditorefaksi memiliki kandungan energi yang lebih tinggi, sehingga lebih efisien digunakan sebagai bahan bakar. Disamping itu torefaksi dapat mengurangi volume biomassa menjadi volume yang lebih kecil dan lebih padat sehingga memudahkan penyimpanan dan pengangkutan. Manfaat yang lain dapat digunakan dalam pembangkit listrik dan biochar yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar di pembangkit listrik yang mengandalkan biomassa.

#### **4.1.7 Konversi energi biomassa dengan konversi biokimia**

Konversi energi biomassa dengan konversi biokimia adalah proses mengubah bahan organik, seperti limbah pertanian, limbah kayu, atau limbah makanan, menjadi energi atau produk bernilai menggunakan reaksi biokimia, seperti fermentasi atau pencernaan anaerob.



**Gambar 4.6.** Proses konversi Biokimia  
(D, Thomas dkk, 2009)

Konversi biokimia suatu proses yang menggunakan mikroorganisme atau enzim untuk mengubah biomassa menjadi bahan bakar hayati (biofuel), gas biogas, atau produk lainnya. Konversi biokimia berfokus pada pemanfaatan sumber daya terbarukan yang ramah lingkungan untuk menghasilkan energi. Berikut adalah beberapa metode utama dalam konversi energi biomassa dengan konversi biokimia:

### Konversi dengan Fermentasi

Fermentasi adalah proses biokimia di mana mikroorganisme (seperti ragi atau bakteri) mengubah bahan organik, terutama gula, menjadi produk seperti etanol, asam organik, atau gas. Pada konversi energi, fermentasi sering digunakan untuk menghasilkan etanol atau bioetanol, yang merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bensin. Prosesnya bahan organik seperti pati atau gula (misalnya dari jagung atau tebu) dicampur dengan mikroorganisme penghasil etanol. Mikroorganisme akan mengubah gula menjadi etanol dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) melalui proses fermentasi anaerobik.

## **Anaerobik digestat**

Anaerobik digestion adalah proses di mana mikroorganisme memecah bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen, menghasilkan biogas yang terdiri dari metana ( $\text{CH}_4$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Biogas ini dapat digunakan sebagai sumbu. Prosesnya yaitu limbah organik seperti kotoran ternak, limbah makanan, atau limbah pertanian dimasukkan ke dalam reaktor anaerobik (misalnya digester). Mikroorganisme anaerobik menguraikan bahan organik dan menghasilkan biogas. Biogas yang dihasilkan dapat digunakan untuk pembangkit listrik atau pemanas, sedangkan sisa bahan (digestat) dapat digunakan sebagai pupuk. berenergi terbarukan

## **Transesterifikasi (ekstraksi)**

Pada proses transesterifikasi, minyak nabati atau lemak hewani diubah menjadi biodiesel melalui reaksi dengan alkohol (biasanya metanol) dan katalis. Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan diesel fosil. Proses Minyak nabati atau lemak hewani dicampur dengan metanol dan katalis (seperti natrium hidroksida). Reaksi kimia menghasilkan biodiesel (metil ester) dan gliserol sebagai produk sampingan. Biodiesel yang dihasilkan bisa digunakan untuk kendaraan diesel.

*Konversi Biokimia Biomassa Keuntungan:*

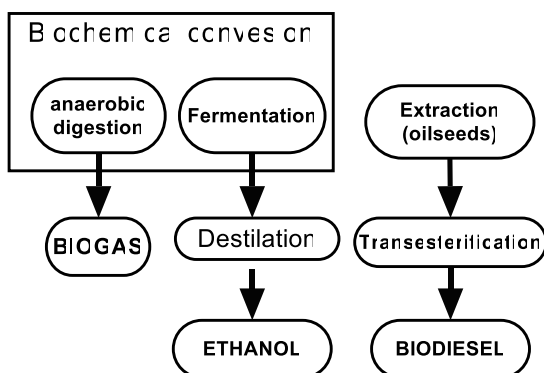
1. Sumber energi terbarukan biomassa merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.
2. Pengurangan emisi gas rumah kaca proses biokimia menghasilkan lebih sedikit emisi karbon dibandingkan dengan pembakaran biomassa secara langsung.
3. Pengelolaan limbah: menggunakan limbah organik untuk menghasilkan energi dapat membantu mengurangi masalah limbah dan memberikan manfaat ganda dalam bentuk energi dan produk bernilai lainnya. Dengan konversi biokimia, biomassa dapat menjadi sumber energi yang lebih bersih dan ramah lingkungan, memberikan solusi untuk mengurangi polusi dan meningkatkan keberlanjutan energi.

## 4.2 Bioenergi

Bioenergi berasal dari biomassa, yang merupakan bahan organik yang mengandung energi dan digunakan untuk membuat produk seperti biofuel, bioetanol, biodiesel, dan sebagainya. biogas dan bioetanol untuk mengoperasikan suatu alat yang berbasis ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Bioenergi adalah solusi potensial untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas. Namun, pengembangan bioenergi perlu memperhatikan aspek keberlanjutan, seperti penggunaan lahan yang efisien dan pengelolaan sumber daya alam yang bijaksana.

### TEKNOLOGI BIOENERGI



**Gambar 4.7.** Teknologi Bioenergi dan Produknya

Dengan teknologi yang tepat dan kebijakan yang mendukung, bioenergi dapat menjadi bagian penting dalam sistem energi masa depan yang ramah lingkungan. Bioenergi dihasilkan dari bahan organik yang dapat diperbarui (*renewable*). Bahan-bahan organik ini bisa berasal dari tumbuhan, hewan, atau limbah biologis. Bioenergi sering kali digunakan sebagai alternatif atau pelengkap untuk sumber energi fosil (seperti minyak, gas alam, dan batu bara) yang terbatas dan dapat mencemari lingkungan.

#### **4.2.1 Sumber Bioenergi**

Sumber bioenergi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, di antaranya:

1. Biomassa merupakan bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan hewan, seperti kayu, daun, limbah pertanian, dan limbah hewan.
2. Biofuel yaitu nnergi yang diperoleh dari sumber bahan organik yang diubah menjadi bahan bakar cair atau gas. Contohnya adalah bioetanol, biodiesel, dan biogas.
3. Biogas berupa gas yang dihasilkan melalui proses fermentasi anaerobik dari limbah organik, seperti kotoran hewan atau sampah organik.
4. Biokerosene yaitu bahan bakar yang dihasilkan dari tanaman minyak yang bisa digunakan untuk penerbangan.

#### **4.2.2 Jenis-Jenis Bioenergi Terdiri Dari Beberapa Jenis Yaitu**

1. Bioetanol adalah Jenis bioenergi yang dihasilkan dari fermentasi bahan organik yang mengandung pati atau gula, seperti jagung, tebu, atau singkong. Bioetanol sering digunakan sebagai campuran bahan bakar kendaraan (misalnya E85, yang mengandung 85% etanol).
2. Biodiesel diperoleh dari minyak nabati (misalnya kelapa sawit, kedelai, atau jarak pagar) atau lemak hewan yang diproses untuk menghasilkan biodiesel. Biodiesel dapat digunakan sebagai pengganti atau campuran bahan bakar diesel.
3. Biogas dihasilkan melalui proses penguraian bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen (anaerobik). Biogas biasanya digunakan untuk menghasilkan listrik dan panas.
4. Biochar diperoleh hasil pengolahan biomassa yang dibakar dengan suhu tinggi (pirolisis) untuk menghasilkan karbon yang dapat digunakan untuk penyimpanan karbon atau sebagai bahan baku untuk pupuk.

### **4.2.3 Proses Konversi Bioenergi**

Ada beberapa cara untuk mengkonversi biomassa menjadi bioenergi, antara lain:

1. Pembakaran langsung yaitu pembakaran biomassa untuk menghasilkan panas yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap dan menggerakkan turbin listrik.
2. Fermentasi merupakan proses biologi yang digunakan untuk mengubah bahan organik menjadi bioetanol atau biogas.
3. Pirolisis yaitu proses pemanasan biomassa dalam keadaan tanpa oksigen untuk menghasilkan biochar dan gas.
4. Gasifikasi yaitu proses pemanasan biomassa dengan oksigen terbatas untuk menghasilkan gas yang bisa digunakan sebagai bahan bakar.

### **4.2.4 Keuntungan dan kerugian Bioenergi**

Keuntungan bioenergi karena sumbernya dari terbarukan seperti bahan organik sehingga dapat digunakan dalam jangka panjang. Disamping itu mengurangi emisi karbon sebab penggunaan bioenergi dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang meningkatkan emisi gas rumah kaca. Banyak bahan untuk bioenergi juga berasal dari limbah pertanian, industri, atau rumah tangga, sehingga membantu mengurangi pencemaran lingkungan yang dihasilkan dari limbah-limbah tersebut. Namun disamping beberapa keuntungan bioenergi terdapat juga kerugiannya seperti Penggunaan lahan dimana untuk memproduksi tanaman yang digunakan untuk bioenergi, diperlukan lahan yang luas, yang bisa mempengaruhi ketersediaan lahan untuk pangan. Selanjutnya penggunaan air dan pupuk untuk beberapa jenis tanaman bioenergi memerlukan banyak air dan pupuk, yang dapat menambah biaya dan berpotensi merusak ekosistem.

### **4.2.5 Penerapan Bioenergi**

Penggunaan bioenergi diberbagai sektor sebagai berikut:

1. Sektor transportasi yaitu bioetanol dan biodiesel dapat digunakan sebagai pengganti atau campuran bahan bakar fosil dalam kendaraan bermotor.

2. Pembangkit listrik misalnya biomassa atau biogas dapat digunakan untuk menghasilkan listrik melalui pembakaran atau pembangkitan gas.
3. Pemanasan berupa biomassa, seperti kayu atau pellet, dapat digunakan untuk pemanas ruangan atau industri.
4. Industri kimi Beberapa produk kimia dapat diproduksi menggunakan bahan baku dari biomassa.

#### **4.2.6 Tantangan Pengembangan Bioenergi**

1. Keterbatasan lahan dalam hal memproduksi tanaman bioenergi membutuhkan lahan yang besar, yang dapat bersaing dengan lahan untuk produksi pangan.
2. Teknologi menjadi hal penting dimana pengembangan teknologi yang efisien dan ramah lingkungan untuk konversi biomassa menjadi bioenergi masih dalam tahap pengembangan.
3. Harga dan biaya kaitannya dengan pengembangan industri bioenergi memerlukan investasi yang tinggi, dan dalam beberapa kasus, harga bioenergi masih lebih mahal dibandingkan dengan energi fosil

## DAFTAR PUSTAKA

- Faaij A, 2006. Modern biomass conversion technologies. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.
- Demirbas, A., 2009. Biorefineries: Current activities and future developments. Energy Conversion and Management. 50, 2782-2801. nge. 2009;11(2):343-375
- Basu, P. , 2013, Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory, Elsevier: San Diego.
- Kenji Koido and Takahiro Iwasaki, 2007. Biomass Gasification: A Review of Its Technology, Gas Cleaning Applications, and Total System Life Cycle Analysis- OPEN ACCESS PEER-REVIEWED CHAPTER, 2007: DOI: 10.5772/intechopen.70727
- Sikarwar VS, Zhao M, Fennell PS, Shah N, Anthony EJ, 2017. Progress in biofuel production from gasification. Progress in Energy and Combustion Science. 2017;61:189-248. DOI: 10.1016/j.pecs.2017.04.001
- Hwai Chyuan Ong dkk, 2021. (Variation of lignocellulosic biomass structure from torrefaction: A critical review)- Renewable and Sustainable Energy Reviews: 152
- Thomas D. Foust & Andy Aden & Abhijit Dutta & Steven Phillips, 2009. (An economic and environmental comparison of a biochemical and a thermochemical lignocellulosic ethanol conversion processes)

# **BAB 5**

## **TEKNOLOGI ENERGI AIR DAN PANAS BUMI**

### **5.1 Pendahuluan**

Bertambahnya permintaan energi menjadi suatu tantangan bagi keberlangsungan lingkungan. Salah satu sumber energi yang selama ini digunakan, yaitu energi fosil, merupakan sumber tak dapat diperbaharui yang memproduksi emisi karbon dan dapat menyebabkan perubahan iklim. Karena itu, untuk mengatasi masalah ini, penggunaan energi terbarukan semakin ditingkatkan. Sumber energi yang dapat diperbaharui (terbarukan) yakni energi air dan energi panas bumi.

Menurut Undang-undang Republik Indonesia No. 30 Tahun 2007 tentang energi, energi terbarukan merupakan energi yang didapat dari sumber daya yang berkelanjutan jika dikelola dengan tepat (Pemerintah Pusat, 2007). Peningkatan investasi dan percepatan dalam mencapai target pemanfaatan energi terbarukan di tingkat nasional sesuai dengan kebijakan energi nasional serta pengurangan emisi gas rumah kaca, maka dilakukan langkah-langkah untuk mempercepat pengembangan energi terbarukan, terutama dalam penyediaan listrik dari sumber-sumber energi terbarukan (Pemerintah Pusat, 2022).

Sumber energi terbarukan seperti air dan panas bumi dianggap sangat menjanjikan untuk menghasilkan listrik bagi manusia melalui Pembangkit Listrik (Johanna, 2024).

Di Indonesia, potensi energi air sangat besar. Hal ini disebabkan oleh posisi Indonesia terletak digaris khatulistiwa, menjadikannya negara tropis dengan musim hujan yang terjadi setiap tahun sehingga mengakibatkan ketersediaan air permukaan yang melimpah. Selain itu, adanya perairan juga berkontribusi sebagai sumber pembangkit listrik dengan memanfaatkan debit besar pada aliran air sungai, waduk dan atau bendungan. Ketahanan pasokan energi air di Indonesia

lebih stabil dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya seperti angin dan matahari. Dengan mengoptimalkan sumber energi air, diharapkan Indonesia dapat meningkatkan ketahanan energi nasional dan mendukung keberlanjutan lingkungan lewat pemanfaatan energi bersih (Johanna, 2024).

Sedangkan, potensi sumber energi panas bumi di Indonesia berada pada posisi yang paling besar. Letak geografis Indonesia yang berada di cincin api pasifik menempatkannya di zona panas bumi yang aktif, memberikan keunggulan dalam bidang energi terbarukan dari sumber panas bumi. Meskipun memiliki potensi yang melimpah dan kesempatan untuk menjadi penghasil energi panas bumi terbesar di dunia, penggunaan energi ini masih sangat minim. Sumber daya panas bumi di Indonesia sangat besar, tetapi belum sepenuhnya dimanfaatkan, dan memiliki peran yang sangat signifikan dalam memenuhi kebutuhan energi nasional. Energi panas bumi dihasilkan dari panas yang terperangkap di dalam bumi. Energi ini dapat digunakan juga dimanfaatkan untuk pembangkit listrik, pemanasan, dan juga sebagai sumber energi bagi sektor industri (Suhandoko, 2025).

Menurut Direktorat tentang Energi Terbarukan dan Penghematan Energi, Indonesia memiliki sekitar 29.000 megawatt (MW) sumber daya panas bumi, menjadikannya negara terbesar di dunia dengan cadangan panas bumi. Namun, hanya menggunakan sekitar 2.000 MW dari potensi keseluruhan, hanya mencakup sekitar 7% dari potensi yang ada. Ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi besar. (Suhandoko, 2025). Sedangkan Energi air yang bisa digunakan di Indonesia mencapai 74. 976 MW, dengan 70. 776 MW terletak di luar Jawa dan sisanya ada di Jawa. Dari semua potensi yang sudah dimanfaatkan, sebesar 3. 105,76 MW, sebagian besar terletak di Pulau Jawa. (Lubis, 2007).

Dalam bab ini dibahas mengenai teknologi energi air dan panas bumi yang meliputi pendahuluan, energi air meliputi potensi dan teknologi sumber energi air, energi panas bumi meliputi potensi dan teknologi sumber energi panas bumi.

## **5.2 Sumber Terbarukan Di Indonesia**

Indonesia terletak di antara dua benua yakni Benua Asia dan Australia dn Benua Pasifik dan Hindia. Indonesia juga memiliki banyak pegunungan dan perbukitan dengan banyak sungai yang mengalir melintasinya. Sumber daya alam seperti gunung berapi, sungai, danau di Indonesia bisa digunakan untuk menghasilkan energi dari air dan panas bumi. Jalur gunung berapi yang aktif sepanjang Pulau Sumatera, melewati Pulau Jawa, Bali, NTT, NTB, hingga Kepulauan Banda, Halmahera, dan Pulau Sulawesi. Jalur ini memiliki panjang lebih dari 7. 500 km dan lebar 50-200 km, dengan sekitar 150 gunung api, baik yang aktif maupun tidak. Penelitian yang dilakukan di sepanjang jalur ini telah menemukan 217 lokasi yang berpotensi sebagai sumber energi panas bumi, ditambah banyaknya sungai, danau atau waduk yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi air. (Lubis, 2007).

## **5.3 Energi Air**

### **5.3.1 Potensi Energi Air**

Energi air pada dasarnya menggunakan energi gerak yang dihasilkan oleh aliran air. Ini bersumber dari energi tinggi air yang ada di tempat penyimpanan seperti danau dan atau waduk (Asa Taufiqurrahman, 2020).

Di Indonesia, potensi energi air diperkirakan sekitar 94. 449 MW. Potensi tersebut sudah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga mini (PLTM) dan pembangkit listrik tenaga mikro (PLTMH) (Asa Taufiqurrahman, 2020).

Kapasitas daya pembangkit dikelompokkan sesuai dengan klasifikasi yang terdapat dalam SNI 8396:2019, jumlah lokasi berpotensi di seluruh Indonesia berjumlah 52. 566 lokasi, dengan total potensi energi hidro untuk sistem *Run Off River* mencapai 94. 627 MW dan 776 lokasi di seluruh Indonesia telah terverifikasi dan cocok (ESDM, 2021).

### 5.3.2 Teknologi Energi Air

Energi air menggunakan sumber dari tanah, sungai, danau, atau waduk yang ada di permukaan. Air yang mengalir dengan tekanan tinggi sepanjang tahun diubah menjadi energi kinetik. Energi ini kemudian digunakan untuk memutar turbin dan generator listrik, yang menghasilkan listrik. Setelah itu, listrik tersebut disalurkan melalui jaringan listrik ke rumah-rumah dan bisnis (Feby Hidayani, 2017).

Sumber energi air telah digunakan untuk menghasilkan listrik sejak awal tahun 1800-an. Teknologi ini memanfaatkan energi potensial yang diubah menjadi energi kinetik melalui aliran air. Ini adalah metode yang sudah terbukti dan dapat mencapai efisiensi hingga 90 persen. Selain itu, energi dari air ini termasuk jenis energi yang ramah lingkungan, meskipun membangun waduk untuk pengembangannya memerlukan lahan yang cukup luas (Kholiq, 2020).

Jenis pembangkit Listrik dan pemanfaatannya (Kholiq, 2020), sebagai berikut:

#### 1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

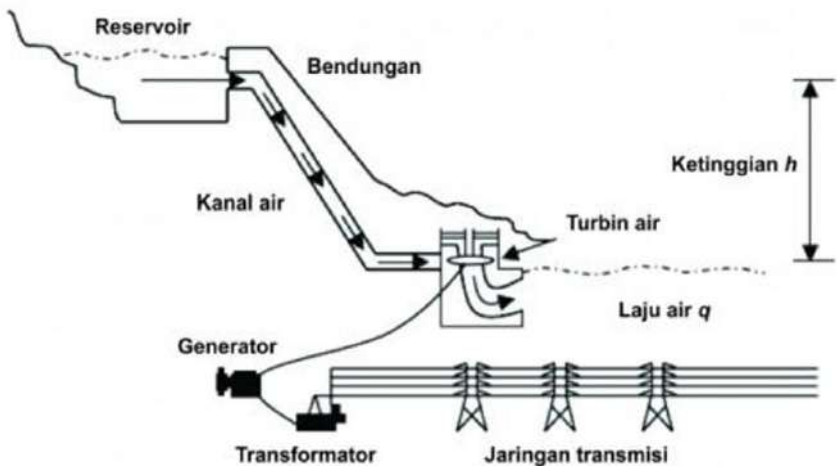
PLTA merupakan pembangkit listrik berskala besar dengan lahan yang luas. Prinsip dasar pembangkit listrik tenaga air adalah mengubah energi air menjadi energi gerak melalui turbin menjadi energi listrik oleh generator. Contoh: PLTA Cirata, Purwakarta

Komponen Dasar PLTA adalah reservoir air/bendungan (DAM), intake, Penstock, turbin, generator, dan transmisi, seperti pada tabel 5.1 dan gambar 5.1

**Tabel 5.1.** Komponen dan fungsi dasar PLTA

| No | Komponen                | Fungsi                                                                                            |
|----|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Reservoir/<br>bendungan | Menampung air dari hujan, Sungai, waduk/ bendungan                                                |
| 2  | Pen stock               | Pipa untuk mengalirkan air dari DAM ke turbin.                                                    |
| 3  | Turbin                  | Mengkonversi energi potensi air menjadi energi mekanik untuk memutar generator                    |
| 4  | Generator               | Konversi energi mekanik menjadi listrik                                                           |
| 5  | Intake                  | Mengatur volume air ke penstock                                                                   |
| 6  | Transformer &/Transmisi | Menaikkan tegangan generator ke tegangan jaringan transmisi yang mengirimkan Listrik ke pelanggan |

**Sumber:** (Feby Hidayani, 2017)

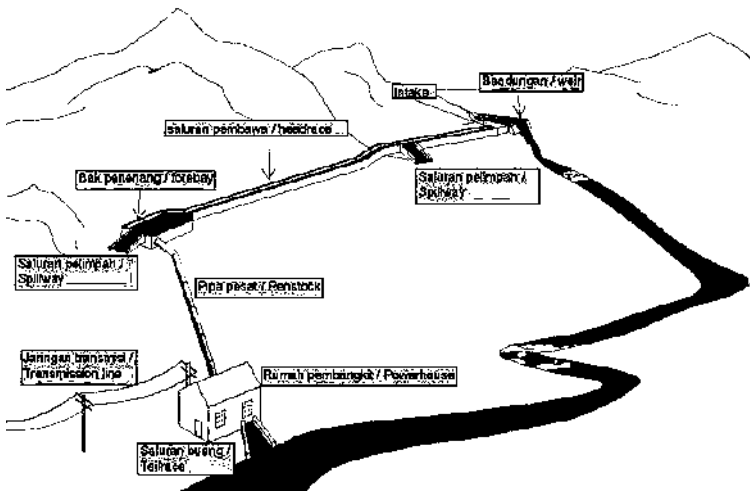


**Gambar 5.1.** Komponen Dasar PLTA

Sumber: (Feby Hidayani, 2017)

## 2. Pembangkit Listrik Tenaga Minigidro (PLTM) dan Mikrohidro (PLTMH)

PLTM dan atau PLTMH merupakan pembangkit Listrik berskala kecil ditempat yang terpencil. Prinsip PLTM dan atau PLTMH yaitu mengubah energi air pada debit aliran air sepanjang tahun yang mengalir menyesuaikan kemiringan sungai menjadi energi kinetic oleh turbin yang kemudian berubah menjadi enrgi Listrik. Contoh: PLTMH Cinta Mekar Subang, Jawa Barat. Komponen Dasar PLTMH adalah DAM atau bendungan pengalih (*Intake*), saluran pelimpah (*spillway*), saluran pembawa (*headrace*), bak pengendap atau penenag (*forebay*), Pipa Pesat (*Penstock*), Turbin, Generator, Panel Kontrol, Sistem Pengaturan Beban, seperti pada tabel 5. 2 dan gambar 5.2 .



**Gambar 5.2.** Komponen Dasar PLTMH  
Sumber : (Riadi, 2021)

**Tabel 5.2.** Komponen dan fungsi dasar PLTMH

| No | Komponen                                       | Fungsi                                                                                                                                                           |
|----|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | DAM atau bendungan pengalih ( <i>Intake</i> ), | Tempat menampung air dan mengalirkan ke bak pengendap melalui saluran pembawa ( <i>Headrace</i> )                                                                |
| 2  | Saluran pelimpah ( <i>spillway</i> )           | Mengalirkan aliran banjir dari hulu ke hilir DAM bertujuan agar level air di hulu tidak melebihi batas aman yang dapat membahayakan mercu dan struktur tubuh DAM |
| 3  | Saluran pembawa ( <i>headrace</i> ),           | Mengalirkan air dari saluran masuk atau wadah pengendap menuju wadah penenang dan berfungsi untuk menjaga kestabilan aliran air                                  |
| 4  | Bak pengendap                                  | Memisahkan partikel (pasir atau lumpur) dengan air                                                                                                               |
| 5  | Pipa Pesat ( <i>Penstock</i> ),                | Mengalirkan air dari bak pengendap ke turbin.                                                                                                                    |
| 6  | Turbin,                                        | Alat pengubah energi air menjadi energi mekanis                                                                                                                  |
| 7  | Generator,                                     | Alat pengubah energi gerak menjadi energi listrik                                                                                                                |
| 8  | Panel Kontrol,                                 | Tempat kelistrikan dan monitoring                                                                                                                                |
| 9  | Sistem Pengaturan Beban                        | Sistem Proteksi terhadap perubahan beban yang menyebabkan frekuensi dan tegangan listrik akan berubah                                                            |

Sumber : (Riadi, 2021)

### **3. PLTA *Pumped Storage***

PLTA *Pumped Storage* merupakan suatu metode Inovasi baru Pembangkit Listrik Tenaga Air, dikembangkan oleh PLTA Upper Cisokan, Kecamatan Rongga, Kabupaten Bandung Barat, ditargetkan selesai 2026.

*Pump Storage* merupakan Sebuah cara untuk mengumpulkan air dalam sebuah kontainer guna menghasilkan listrik dengan memanfaatkan energi potensial yang berasal dari perbedaan ketinggian antara dua wadah air yang terhubung melalui sebuah pipa, seperti pada tabel 5.3 dan gambar 5.3

Ketika kebutuhan energi listrik bertambah, seperti di siang hari, air dari tangki atas akan mengalir ke tangki bawah untuk menghasilkan listrik di pembangkit dengan turbin yang digerakkan oleh air dalam pipa.

Namun, saat kebutuhan listrik berkurang, seperti di malam hari atau akhir pekan, air akan dipindahkan dari tangki bawah ke tangki atas oleh pembangkit melalui pipa untuk disimpan kembali.

*Pumped Storage* Gambar 5.4., merupakan teknologi penyimpanan yang dimanfaatkan untuk membantu menyeimbangkan sesaat antara kebutuhan dan penyediaan tenaga listrik, sehingga dapat menjaga sistem tetap stabil, aman, dan dapat diandalkan (Asa Taufiqurrahman, 2020)

*Kelemahan* dari *pumped storage* adalah perlunya memilih lokasi yang tepat, serta memerlukan ketinggian dan sumber air yang cukup. Oleh sebab itu, lokasi yang ideal adalah daerah berbukit atau pegunungan, yang juga memiliki potensi keindahan alam. Sistem penyimpanan yang menggunakan pompa terintegrasi dengan jaringan lainnya dan dapat menjalankan beberapa fungsi, seperti mengatur frekuensi, mengelola jaringan, menghidupkan kembali sistem, serta menyediakan cadangan saat ada pemadaman (Ion Petrescu & Petrescu, 2015)

*Pump storage* mempunyai cara kerja sebagai berikut:

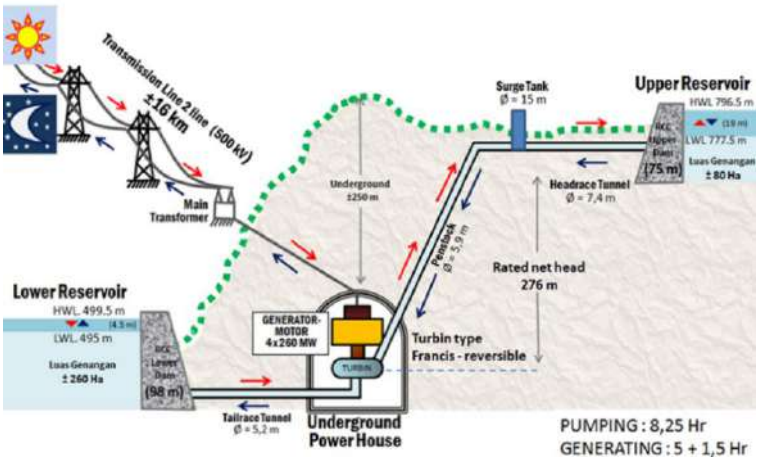
1. Dua reservoir dengan tinggi yang berbeda menyimpan air dan dihubungkan oleh pipa ke mesin generator.
2. Saat penggunaan listrik bertambah, katup di bagian atas reservoir akan terbuka, dan air akan mengalir ke reservoir di bawah melalui generator yang menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik.

3. Ketika kebutuhan listrik menurun, generator akan memanfaatkan listrik untuk memompa air dari reservoir bawah ke reservoir atas untuk disimpan dan dipakai lagi saat dibutuhkan

**Tabel 5.3.** Komponen dan fungsi dasar PLTA *Pumped Storage*

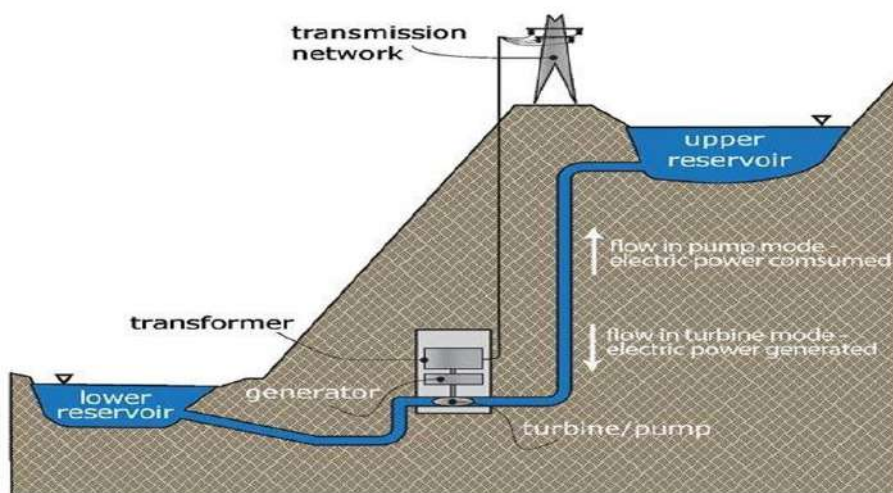
| No | Komponen      | Fungsi                                                    |
|----|---------------|-----------------------------------------------------------|
| 1  | Dam/Waduk     | air yang mengalir dari sungai hingga terbentuk danau      |
| 2  | Valve Chamber | Pintu air menuju ke turbin                                |
| 3  | Surge Tank    | Peredam efek pukulan air jika terjadi perubahan debit air |
| 4  | Penstock      | Saluran pipa air                                          |
| 5  | Turbine       | alat pengubah energi potensial air menjadi energi gerak   |
| 6  | Generator     | Pengubah energi gerak ke listrik                          |
| 7  | Transformer   | Alat untuk menaikkan / menurunkan tegangan                |
| 8  | Power lines   | Jaringan listrik                                          |

Sumber: (Cisokan, 2024)



**Gambar 5.3.** Skema PLTA *Pumped Storage*

Sumber: (Cisokan, 2024)



**Gambar 5.4.** Skema PLTA Pumped Storage  
 Sumber: (Asa Taufiqurrahman, 2020)

## 5.4 Energi Panas Bumi

### 5.4.1 Potensi Energi Panas Bumi

Sumber energi yang berasal dari panas bumi berhubungan dengan pergerakan yang terjadi di dalam lapisan kerak bumi ke arah atas. Berdasarkan Undang-undang No 23 Tahun 2002, sumber daya panas bumi ditemukan pada air panas, uap, batuan, mineral, dan gas dalam sistem geothermal. Indonesia merupakan negara yang berada pada cincin api, diperkirakan memiliki potensi sebesar 40 persen dari total potensi panas bumi di dunia (Sarante, 2024).

Survei menunjukkan bahwa terdapat 70 tempat yang memiliki sumber panas bumi dengan suhu tinggi, dan total kapasitasnya mencapai 19.658 MW. Sebagian besar dari tempat-tempat ini belum dieksplorasi secara mendalam (Lubis, 2007).

Secara umum, informasi mengenai energi geothermal dapat diklasifikasikan dalam dua jenis, yaitu data tentang energi yang tersimpan dan data mengenai sumber energi (Lubis, 2007). Energi panas dari dalam bumi atau geothermal hampir terdapat di seluruh Indonesia. Di negara ini, pemanfaatan energi geothermal sudah dilakukan secara luas dan menjadi salah satu

sumber energi terbarukan yang sangat penting. Berdasarkan informasi dari PT PLN (Persero), saat ini ada sekitar 2.000 MW kapasitas pembangkit listrik geothermal yang aktif di Indonesia. Catatan yang ada menunjukkan bahwa terdapat lebih dari 300 lokasi sumber geothermal yang tersebar dari ujung Sabang hingga Merauke (Nurwahyudin & Harmoko, 2020).

Energi geothermal adalah energi yang diperoleh dari panas yang ada di dalam bumi. Sumber energi ini memiliki beberapa ciri khusus yang menjadikannya berbeda dari sumber energi lainnya. Salah satu ciri utama dari energi geothermal adalah keberlanjutannya. Energi ini dapat diandalkan secara terus-menerus karena panas dari dalam bumi tersedia setiap saat.

Selain itu, energi geothermal juga memiliki dampak positif bagi lingkungan karena emisi gas rumah kaca yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan listrik dari pembangkit konvensional.

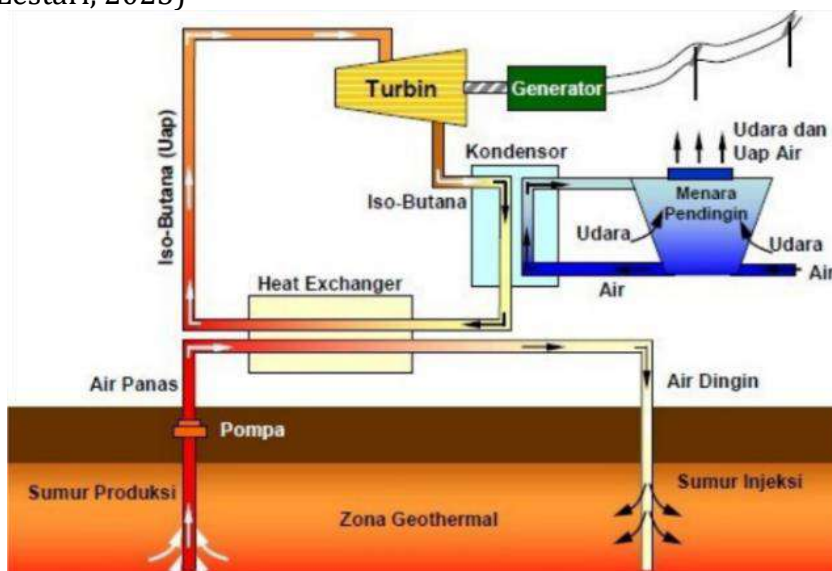
#### **5.4.2 Teknologi Energi Panas Bumi**

Teknologi energi panas bumi berfungsi dengan menggunakan air yang panas yang berada di bawah permukaan bumi. Air panas ini diambil dari sumur yang dibor ke bumi, lalu dipindahkan ke permukaan melalui pipa. Air panas ini selanjutnya digunakan untuk membuat uap, yang berputar turbin dan generator listrik. Kemudian, listrik ini disalurkan melalui jaringan listrik ke rumah-rumah dan berbagai usaha. Pemanfaatan energi panas bumi berdasarkan kapasitas daya. Teknologi energi panas bumi yaitu Pembangkit Tenaga Listrik Panas bumi (PLTP) (Gambar 5.4) (Hakim, et al., 2022).

Cara kerja PLTP pada dasarnya sama seperti cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Hal ini, dikarenakan keduanya menggunakan panas untuk memutar turbin yang menghasilkan listrik. Namun, perbedaannya keduanya pada cara PLTP menggunakan fluida thermal dari sumber panas bumi untuk menggerakkan turbin. Dimana turbin berputar, menghasilkan listrik melalui generator. Fluida termal diambil melakukan pengeboran sumur produksi panas bumi di area yang dianggap memiliki potensi energi panas bumi. Kedalaman

tersebut berkisar antara 1500 hingga 2500 meter. Dikarenakan proses pengambilan bukan dari air permukaan melainkan panas dalam bumi, maka hal ini tidak akan mengganggu pasokan air bagi masyarakat. (Lestari, 2023)

Setelah proses pengeboran selesai, tahapan berikutnya berupa fluida termal pada sumur panas bumi akan dialirkan ke turbin dan generator. Fluida termal berupa air yang tidak terpakai dan atau tidak mengalami perubahan menjadi uap dimasukkan kembali ke dalam tanah melalui sumur reinjeksi. Mengalirkan kembali fluida termal ke dalam bumi berfungsi (Lestari, 2023)



**Gambar 5.4.** Skema Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP)

Sumber: (Alyssa Kagel, 2005)

Teknologi untuk menghasilkan energi dari panas bumi berfungsi untuk mengubah fluida air dan uap panas pada panas bumi menjadi listrik. Komponen Utama PLTP, seperti tabel 5.4

**Tabel 5.4.** Komponen dan fungsi Utama PLTP

| No | Komponen                       | Fungsi                                             |
|----|--------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1  | <i>Steam Receiving Header</i>  | Pengumpul uap                                      |
| 2  | <i>Vent Structure</i>          | Bangunan pelepas uap                               |
| 3  | Separator                      | Pemisah fluida uap dan air                         |
| 4  | Demister                       | Mengeliminasi butir air oleh uap                   |
| 5  | Turbin                         | Penghasil gerak menjadi listrik                    |
| 6  | Generator                      | Pengubah energi mekanik ke listrik.                |
| 7  | <i>Switch yard</i>             | Pemutus & penghubung listrik                       |
| 8  | Kondensor                      | Kondensasi uap turbin                              |
| 9  | <i>Main cooling water pump</i> | Alat mengalirkan air kondensat ke menara pendingin |

Sumber: (Pristiandaru, 2023)

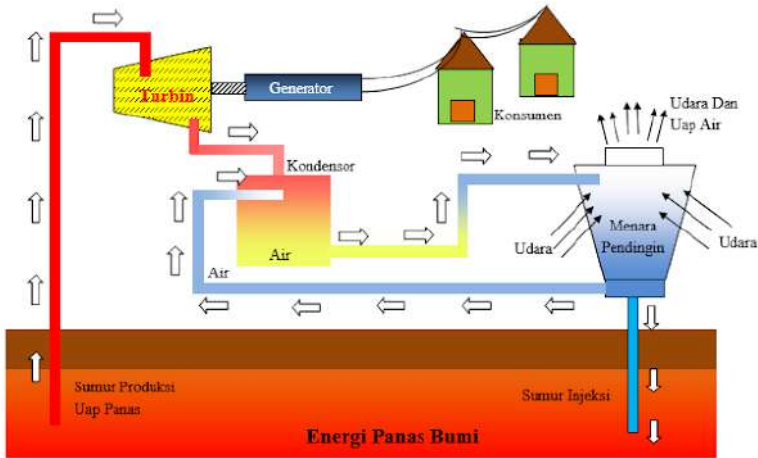
Sistem Teknologi Pembangkit Listrik Panas Bumi (SF, 2010), sebagai berikut:

1. Sistem Uap Kering (*Dry Steam*)

PLTP sistem *dry steam* memanfaatkan sumber uap panas yang berada di *subsurface*. Uap panas digunakan secara langsung untuk memutar turbin. Selanjutnya, akan mengubah energi uap panas menjadi energi gerak dan menghasilkan energi Listrik seperti pada gambar 5.5.

Syarat-syarat:

- Suhu relatif tinggi ( $>230^{\circ}\text{C}$ )
- Tekanan relatif besar ( $>3,5$  atm)
- Volume kisaran 10 ton/jam atau setara 1000 kW listrik
- Kedalaman (maks 2500m)
- Fluida tidak bersifat korosif



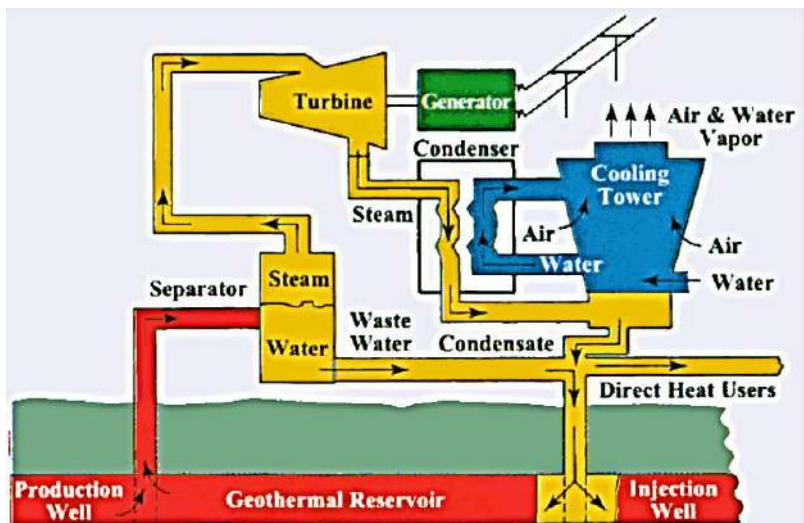
**Gambar 5.5.** Skema Teknologi Panas bumi (PLTP) sistem *Dry Steam*.

Sumber: (T.V.Pangow, 2008)

## 2. Sistem Uap Basah (*Flash Steam*)

PLTP sistem *Flash steam* memanfaatkan sumber air panas dengan suhu kisaran lebih dari  $182^{\circ}\text{C}$  yang berada di *subsurface*. Sistem *Flash Steam* adalah sistem paling umum digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.

Air panas dipompa ke permukaan melalui pipa sumur dan sebagian berubah menjadi uap. Uap yang dihasilkan dipisahkan untuk memutar turbin. Sisa air dan uap yang telah mengembun kemudian dimasukkan kembali ke dalam reservoir melalui sumur injeksi, memastikan bahwa sumber energi ini dapat terus digunakan dan bersifat terbarukan (Gambar 5.6).

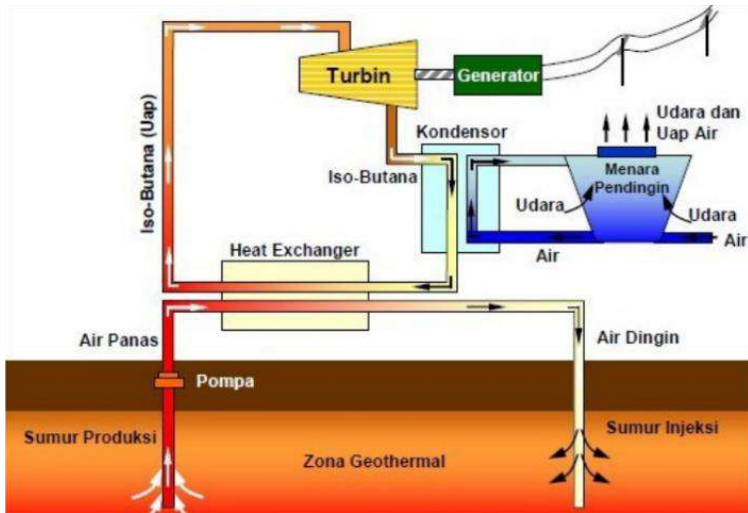


**Gambar 5.6.** Skema Teknologi Panas bumi (PLTP) sistem *Flash Steam*.

Sumber: (T.V.Pangow, 2008)

### 3. Sistem Uap Air Panas (*Binary Cycle*)

Sistem *binary cycle* menggunakan air dengan suhu rendah, kisaran  $107^{\circ}\text{--}182^{\circ}\text{C}$ . Prinsip dasar dengan mengambil panas dari air panas menjadi uap. Proses ini melibatkan penggunaan *heat exchanger* dengan fungsi mengubah cairan menjadi uap. Uap yang dihasilkan kemudian dimanfaatkan sebagai menggerakkan turbin, setelah itu diinjeksikan melalui sumur injeksi menuju ke reservoir melalui sumur injeksi agar dapat dipanaskan lagi (Gambar 5.7).



**Gambar 5.7.** Skema Teknologi Panas bumi (PLTP) sistem *Binary Cycle*.

Sumber: (T.V.Pangow, 2008)

## DAFTAR PUSTAKA

- Alyssa Kagel, B. B. & K. G., 2005. *A Guide to Geothermal Energy and the*. Washington, D.C: GEOTHERMAL ENERGY ASSOCIATION.
- Asa Taufiqurrahman, J. W., 2020. Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 1(0), pp. 124-132.
- Cisokan, P. U., 2024. *BIA Cisokan*. [Online] Available at: <https://biacisokan.blogspot.com/p/pumped-storage-hydroelectricityplta.html> [Diakses 29 Maret 2025].
- ESDM, S. I., 2021. *Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE)*. [Online] Available at: <https://p3tkebt.esdm.go.id/news-center/arsip-berita/peta-potensi-energi-hidro-indonesia-2020> [Diakses 29 Maret 2025].
- Feby Hidayani, Y. S. C. F. d. R. A., 2017. Creative Environmental Energy Teknologi Assessment Hydroelectric Power Plant (Case Study of Wonogiri Reservoir). *Indonesian Journal of Physics and Nuclear Applications*, 2(0), pp. 101-110.
- Hakim, A. F. et al., 2022. Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Indonesia. *Indonesian Journal of Conservation*, 2(DOI 10.15294/ijc.v11i2.40599 ), pp. 71 - 77.
- Ion Petrescu, F. T. & Petrescu, R. V., 2015. *Research Gate*. [Online] Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Florian-Ion-Petrescu/publication/284551465\\_HYDROPOWER\\_AND\\_PUMPED-STORAGE/links/5654d83408ae1ef92976e82a/HYDROPOWER-AND-PUMPED-STORAGE.pdf?origin=publication\\_detail&\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uli](https://www.researchgate.net/profile/Florian-Ion-Petrescu/publication/284551465_HYDROPOWER_AND_PUMPED-STORAGE/links/5654d83408ae1ef92976e82a/HYDROPOWER-AND-PUMPED-STORAGE.pdf?origin=publication_detail&_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uli) [Diakses 29 Maret 2025].
- Johanna, U., 2024. *IPTEK dan Pendidikan*. [Online] Available at: <https://www.goodnewsfromindonesia.id/2024/12/03/pe>

manfaat-sumber-energi-terbarukan-air-solusi-berkelanjutan-di-indonesia  
[Diakses 25 Maret 2025].

- Kholiq, I., 2020. Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung subsidi BBM. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 1(0), pp. 124 - 132.
- Lestari, 2023. *Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi*. [Online]  
Available at: <https://www.electricindonesia.com/cara-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-panas-bumi-pltp/#:~:text=Yang%20membedakan%20PLTP%20dan%20PLPU%20adalah%20pembangkit%20listrik,Turbin%20ini%20kemudian%20memutar%20generator%20sehingga%20menghasilkan%20listrik>.  
[Diakses 05 April 2025].
- Lubis, A. B., 2007. Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 8(0), pp. 155-162.
- Pemerintah Pusat, I., 2007. *Energi*, Jakarta: Pertambangan Migas, Mineral dan Energi, Sekretariat Website JDIH BPK.
- Pemerintah Pusat, I., 2022. *Percepatan Pengembangan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan tenaga listrik*, Jakarta: Sekretariat.
- Pristiandaru, D. L., 2023. *Lestari*. [Online]  
Available at: <https://lestari.kompas.com/read/2023/05/21/100000686/komponen-pembangkit-listrik-tenaga-panas-bumi-pltp-#:~:text=Komponen%20PLTP%201%20Separator%20Separator%20adalah%20suatu%20alat,Generator%20...%205%20Transformator%20...%206%20Kondensor%20>  
[Diakses 11 April 2025].
- Riadi, M., 2021. *Kajian Pustaka*. [Online]  
Available at: <https://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>  
[Diakses 29 Maret 2025].

- Sarante, J., 2024. *Energi baru dan terbarukan sebagai teknologi Alternatif dimasa depan dalam mendukung pertahanan negara*. 0 penyunt. Jakarta: Ditjen Pothan Kemhan (Ditekindhan).
- SF, K. E. d. S. D. M. R., 2010. *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI*. [Online] Available at: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/mengenal-teknologi-pembangkit-listrik-panas-bumi> [Diakses 8 April 2025].
- Suhandoko, 2025. *Berita*. [Online] Available at: <https://wisata.viva.co.id/berita/15333-potensi-energi-panas-bumi-indonesia-sumber-energi-terbarukan-yang-terlupakan> [Diakses 25 Maret 2025].
- T.V.Pangow, A. T. d. T., 2008. *Pemanfaatan Panas Bumi Sebagai Sumber Energi*. Sulawesi, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII.



## **BIODATA PENULIS**



### **Yunita Djamalu, S.T., M.T**

Dosen pada S1 Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan Program Vokasi Universitas Negeri Gorontalo (UNG).

Penulis adalah Dosen pada S1 Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan Program Vokasi Universitas Negeri Gorontalo (UNG). Lahir di Tontulow pada tanggal 17 Februari 1987.

Tahun 2010 Penulis menyelesaikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya dan tahun 2014 menyelesaikan S2 pada Jurusan Teknik Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis bertugas sebagai Dosen mulai tahun 2011 sampai dengan sekarang.

## BIODATA PENULIS



### **Rianto Wibowo, S.T., M.Eng.**

Dosen Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus

Penulis lahir di Demak tanggal 30 Maret 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus.

Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Penulis mengajar matakuliah Energi Terbarukan dan Manajemen Energi di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus, Jawa Tengah. Penulis menekuni bidang Menulis.  
Email penulis : *rianto.wibowo@umk.ac.id*

## BIODATA PENULIS



### **Sugeng Pramudibyo, S.Pd., M.Pd.**

Dosen Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Sidoarjo tanggal 16 Mei 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 Pendidikan Teknik Mesin pada tahun 2012 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pendidikan Kejuruan Universitas Negeri Malang pada tahun 2015. Beberapa kajian-kajian yang sudah dipublikasi di jurnal nasional terindeks sinta seperti pengaruh hasil belajar siswa, peningkatan motivasi belajar siswa melalui media pembelajaran digital, pemberdayaan masyarakat pesisir teluk tomini melalui teknopreneurship.

Email : [sugeng@ung.ac.id](mailto:sugeng@ung.ac.id)

## **BIODATA PENULIS**



**Romi Djafar., ST.MT**

Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan  
Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Gorontalo tanggal 12 Desember 1984. Penulis adalah dosen tetap Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan Diploma III Pada Politeknik Profesional Mandiri Medan tahun 2006, S1 pada Jurusan Teknik Mesin Tahun 2010 di Universitas Gorontalo. Dan melanjutkan S2 di Insititut Teknologi Sepuluh Nopember pada Jurusan Rekayasa Konversi Energi lulus tahun 2017. Penulis menekuni bidang menulis Rekayasa konversi energi dan mechanical engineering.

## **BIODATA PENULIS**



**Rohima Sera Afifah, S.T., M.T.**

Dosen Program Studi Rekayasa Geologi  
Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan

Penulis lahir di Balikpapan tanggal 17 September 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Rekayasa Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Geologi dan melanjutkan S2 pada Program Studi Teknik Geologi. Penulis menekuni bidang Geologi. Aktifitas keseharian seperti mengajar, melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat menjadi tugas utamanya sebagai Dosen Tetap yang dijalani dengan penuh kesungguhan sejak tahun 2009 sampai dengan sekarang di Sekolah Tinggi Teknologi Migas di Balikpapan. Selain itu juga tergabung dalam Tim beberapa kegiatan, seperti pengukuran mutu di Internal Kampus, pendamping mahasiswa, keanggotaan profesi dan atau organisasi.